



TUGAS AKHIR – MO.141326

**STUDI APLIKASI *IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING* PADA *COOLING SYSTEM* KAPAL TERHADAP BAKTERI *FOULING***

MUHAMMAD DANESTO RIZKY MAULUDIN

NRP. 4313100139

Dosen Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T.,M.T.,Ph.D

Harmin Sulistyanning Titah, S.T.,M.T.,Ph.D

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



**FINAL PROJECT– MO.141326**

**STUDY OF IMPRESSED CURRENT ANTI FOULING  
APPLICATION ON SHIP'S COOLING SYSTEM  
AGAINST FOULING BACTERIA**

**MUHAMMAD DANESTO RIZKU MAULUDIN**

**NRP. 4313100139**

**Supervisors:**

**Herman Pratikno, S.T.,M.T.,Ph.D**

**Harmin Sulistyanning Titah, S.T.,M.T.,Ph.D**

**Department of Ocean Engineering**

**Faculty of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**Surabaya 60111**

**2017**



# Studi Aplikasi *Impressed Current Anti Fouling* pada *Cooling System* Kapal Terhadap Bakteri *Fouling*

## TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh

MUHAMMAD DANESTO RIZKY MAULUDIN NRP. 4313100139

Disetujui oleh :

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 1)

2. Harmin Sulistiyaning Eitah, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono M.Sc (Penguji 1)

4. Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc (Penguji 2)

5. Darta Marina C., S.T., M.T. (Penguji 3)

6. Wilama L Dhanistha, S.T., M.T., (Penguji 4)

## **Studi Aplikasi *Impressed Current Anti Fouling* pada *Cooling System* Kapal Terhadap Bakteri *Fouling***

**Nama** : Muhammad Danesto Rizky Mauludin  
**NRP** : 4313100139  
**Departemen** : Teknik Kelautan  
**Dosen Pembimbing 1** : Herman Pratikno,S.T.,M.T.,Ph.D  
**Dosen Pembimbing 2** : Harmin Sulistyaning Titah,S.T.,M.T.,Ph.D

### **Abstrak :**

*Biofouling* merupakan penempelan dan akumulasi dari suatu organisme atau mikro-organisme pada suatu material. *Biofouling* merupakan salah satu penyebab menurunnya kinerja dan kualitas dalam suatu sistem dari struktur, terutama struktur yang memiliki hubungan langsung dengan perairan yakni tempat dimana *biofouling* hidup dan beraktivitas. Penelitian dalam tugas akhir ini merupakan eksperimen pada rangkaian sederhana yang merepresentasikan sistem *Impressed Current Anti Fouling* yang umumnya terletak pada pendingin kapal terhadap bakteri *biofouling*. Bakteri ini memiliki kontribusi sebagai penghambat jalur masuknya air laut ke pendingin, serta termasuk sebagai sebab kenaikan laju korosi pada logam didalam sistem pendingin tersebut, karena produk hasil aktivitas dari beberapa jenis bakteri mengandung asam yang berpotensi mempercepat korosi. Dalam eksperimen ini, salah satu bakteri dilingkungan laut digunakan sebagai objek, dan rangkaian sederhana dari sistem *ICAF* dibuat sedemikian rupa untuk digunakan sebagai subjek. Bakteri yang sudah aktif dimasukkan kedalam reaktor yang berisi katoda dan anoda dari sistem sederhana ini, dengan input variasi waktu eksperimen (3, 5 dan 7 menit) dan arus listrik (0,1, 0,3, dan 0,5 Ampere). Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *ICAF* dalam membunuh bakteri. Persentase terbesar jumlah bakteri yang mati adalah sebesar 99,97%, sedangkan persentase terkecil sudah menunjukkan persentase sebanyak 98,45%. Dalam kata lain, semakin besar variabel yang dipakai, semakin besar juga efektivitas dari sistem tersebut.

**Kata kunci** : *Biofouling*, Korosi, *ICAF*, Efektivitas

# **Study of Impressed Current Anti Fouling Application on Ship's Cooling System Against Fouling Bacteria**

**Name** : Muhammad Danesto Rizky Mauludin  
**Student ID** : 4313100139  
**Department** : Teknik Kelautan  
**1<sup>st</sup> Supervisor** : Herman Pratikno,S.T.,M.T.,Ph.D  
**2<sup>nd</sup> Supervisor** : Harmin Sulistyaning Titah,S.T.,M.T.,Ph.D

## **Abstract :**

Biofouling is the attachment and accumulation of an organism or micro-organism to a material. Biofouling is one of the causes of declining performance and quality in a system of structures, especially structures that have a direct relationship with the waters where the biofouling live and move. The research in this final project is an experiment in a simple circuit that represents Impressed Current Anti Fouling system which is generally located on the cooling of the ship against biofouling bacteria. This bacterium has contribution as the inhibition of sea water entrance to refrigerant, and is included as cause of the increase of corrosion rate on metal inside cooling system, because the product results from the activity of several types of bacteria containing acids that potentially accelerate corrosion. In this experiment, one of the bacteria in the marine environment is used as an object, and the simple circuit of the ICAF system is made in such a way as to be used as a subject. The activated bacteria are introduced into the reactor containing the cathode and anode of this simple system, with inputs of experimental time variation (3, 5 and 7 minutes) and electric current (0.1, 0.3, and 0.5 Ampere). The results of this research analysis showed that ICAF system in killing bacteria. The largest percentage of dead bacteria was 99.97%, while the smallest percentage showed 98.45% percentage. In other words, the more time spent and the greater the current, the greater the effectiveness of the system

**Keywords** : Biofouling, Corrosion, ICAF, Effectivity

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga Tugas Akhir berjudul **Studi Aplikasi *Impressed Current Anti Fouling* pada *Cooling System* Kapal Terhadap Bakteri *Fouling*** dapat penulis selesaikan.

Laporan Tugas Akhir ini dirancang guna memenuhi salah satu persyaratan studi Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini bertujuan untuk mendapatkan data mengenai efektivitas *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)* dalam membunuh bakteri *fouling* dengan cara merancang rangkaian sederhana dari *ICAF* berupa *power supply* berdaya listrik kecil dan melakukan eksperimen dengan alat tersebut terhadap *Pseudomonas fluorescens* sebagai representasi bakteri yang secara umum hidup pada lingkungan laut. *Input* yang diterapkan dalam eksperimen ini adalah dengan memasukkan beberapa variasi arus listrik dan waktu yang berbeda yang dikombinasikan. Kombinasi *input* diharapkan akan menghasilkan *output* serta kesimpulan arus listrik (A) dan waktu yang efektif juga efisien dalam membunuh bakteri penyebab bertambahnya laju korosi. Alat berupa rangkaian sederhana dari *ICAF* juga diekspektasikan berfungsi dengan baik.

Walaupun penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, penulis tetap merasa memiliki kekurangan yang tidak sedikit pula. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang kiranya bermanfaat guna kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Harapan penulis adalah semoga hasil yang telah dicapai dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat berguna baik untuk penulis pribadi dan untuk pembaca secara umum.

Surabaya, Juli 2017

Muhammad Danesto Rizky Mauludin

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sejak awal pengerjaan sampai selesainya penyusunan Tugas Akhir, penulis menyadari bahwa dukungan, bantuan dan bimbingan telah penulis terima secara langsung maupun tidak dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada halaman ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, dan nikmatNya atas berakhirnya penyusunan laporan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua serta saudara – saudara penulis yang senantiasa mendoakan dan selalu mendukung penyusunan laporan tugas akhir
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
4. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M. Sc sebagai dosen wali yang telah membimbing dan memberikan banyak pelajaran esensial kepada penulis selama kurang lebih 4 tahun terakhir
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph. D selaku dosen pertama serta sebagai koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
6. Ibu Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., Ph. D selaku dosen kedua yang telah memberikan banyak ilmu yang sangat berkaitan dengan proses pengerjaan eksperimen Tugas Akhir ini
7. Para dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan evaluasi dan saran yang membangun kepada penulis
8. Bapak Soegiono dan Bapak Pur selaku teknisi rangkaian listrik sederhana yang digunakan dalam Tugas Akhir ini
9. Ibu Iin selaku teknisi Laboratorium Remediasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS
10. Bapak Soegiono dan Bapak Pur selaku teknisi rangkaian sederhana *ICAF*
11. Ibu Merry selaku teknisi Laboratorium Pengolahan Limbah B3, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS



12. Bapak R. Suryo Suyanto, Ibu Churiah Djatminingsih, dan Ibu Chaerani Kusuma Ayu yang telah memberikan dukungan yang banyak
13. Kalila Ziva yang telah banyak membantu secara moral dan fisik dalam penyusunan laporan Tugas Akhir
14. Nurika Primiliana, Muhammad Fauzul Imron, dan Setyo Budi Kurniawan yang telah berkontribusi banyak dalam menolong penulis di Lab. Teknik Lingkungan ITS
15. Teman-teman terbaik kontrakan “GONTRAKAN” yang selalu mendampingi penulis dari awal hingga akhir masa perkuliahan ini
16. Seluruh keluarga besar mahasiswa Teknik Kelautan ITS, terutama angkatan 2013 “VALTAMERI” yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir
17. Teman – teman SMA 21 dan Perumahan Taman Modern yang turut mendukung secara moral
18. Serta semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namun tidak mengurangi rasa terimakasih yang berarti bagi penulis pribadi

Selesainya suatu tugas tidak selalu merupakan akhir dari tugas tersebut, kadang timbulah permulaan baru menuju tugas – tugas lainnya yang lebih sulit dan tidak akan lepas dari bantuan individu – individu disekitar orang itu. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat berguna sebagai referensi bagi para pembaca, terutama dalam ranah yang berkaitan dengan tema dan judul laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2017

Muhammad Danesto Rizky Mauludin

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Baja.....	5
2.2.1 Baja HSLA Grade AH 36 .....	7
2.3 Korosi .....	8
2.3.1 Jenis-jenis Korosi .....	10
2.4 Korosi Biologi (Biological Corrosion) .....	12
2.4.1 <i>MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)</i> .....	13
2.5 Penghambatan Korosi akibat Organisme atau Bio-Fouling .....	15
2.5.1 Sacrificial Anodes .....	16
2.5.2 <i>ICCP (Impressed Current Cathodic Protection)</i> .....	16

2.5.3	ICAF ( <i>Impressed Current Anti Fouling</i> ) .....	17
2.5.4	Regulasi Terkait <i>ICAF</i> ( <i>IMO</i> dan <i>DSB</i> ) .....	21
2.6	Total Plate Count.....	24
2.6.1	<i>Pour Plate Count</i> .....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI.....</b>		<b>27</b>
3.1	Langkah Kerja.....	27
3.2	Prosedur Penelitian.....	28
3.2.1	Studi Literatur .....	28
3.2.2	Persiapan Peralatan dan Bahan Penelitian .....	28
3.2.2	Persiapan Material.....	29
3.2.3	Persiapan Bakteri .....	30
3.2.4	Persiapan Larutan Uji.....	35
3.2.5	Persiapan Wadah Uji Sebagai Reaktor.....	36
3.2.6	Persiapan Sumber aliran listrik berupa <i>Power Supply</i> .....	36
3.2.7	Persiapan Anoda.....	37
3.2.8	Uji ICAF.....	38
3.2.9	Proses Penghitungan Bakteri dengan <i>Pour Plate Count</i> .....	39
3.2.10	Ekspektasi Hasil .....	44
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>45</b>
4.1	Impressed Current Anti Fouling (ICAF) Sederhana .....	45
4.1.1	Steker.....	45
4.1.2	Sakelar .....	46
4.1.3	<i>Fuse</i> / Sekering.....	47
4.1.4	<i>Transformer</i> / Trafo.....	48
4.1.5	<i>Dioda Bridge</i> / <i>Rectifier</i> .....	49
4.1.6	<i>Electrolit Condensator (Elco)</i> / <i>Capacitor</i> .....	51

4.1.7	<i>Transistor</i> .....	52
4.1.8	<i>IC 7805 / Voltage Regulator</i> .....	53
4.1.10	<i>Potensiometer dan Tripotensiometer (Trimpot)</i> .....	54
4.2	Hasil Eksperimen .....	55
4.2.1	Hasil Uji ICAF Sederhana dalam Durasi 3 Menit .....	55
4.2.2	Hasil Uji ICAF Sederhana dalam Durasi 5 Menit .....	59
4.2.3	Hasil Uji ICAF Sederhana dalam Durasi 7 Menit .....	62
4.3	Analisis Hasil Eksperimen.....	65
4.3	Tabel dan Grafik Rata – Rata Jumlah Bakteri Hasil Eksperimen.....	66
4.3.1	Tabel dan Grafik Rata – Rata Jumlah Bakteri berdasarkan.....	66
4.3.1.5	Persentase Bakteri yang Sudah Mati atau Inaktif .....	71
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		<b>72</b>
5.1	Kesimpulan .....	72
5.2	Saran.....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>74</b>
<b>LAMPIRAN – LAMPIRAN</b> .....		<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pseudomonas fluorescens pada mikroskop.....	15
Gambar 2.2 Pipeline tanpa ICCP Protection .....	17
Gambar 2.3 Ilustrasi ICAF pada sistem pendingin di seachest kapal.....	18
Gambar 2.4 Anoda tembaga .....	19
Gambar 2.5 Anoda aluminium .....	19
Gambar 2.6 Anoda besi.....	19
Gambar 2.7 Dual purpose anode .....	20
Gambar 2.8 Voltase nominal yang diperbolehkan pada sistem di bidang maritim, .....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	28
Gambar 3.2 AH – 36 Steel sebagai katoda.....	30
Gambar 3.3 Nutrient Agar dan Nutrient Broth.....	31
Gambar 3.4 NaCl Powder .....	31
Gambar 3.5 Incubator .....	32
Gambar 3.6 Alat Centrifuge .....	33
Gambar 3. 7 Bakteri setelah dimasukkan kedalam Centrifuge .....	33
Gambar 3. 8 Spektrofotometer .....	34
Gambar 3.9 Hasil OD harus dekat 1 A dengan .....	35
Gambar 3.10 Larutan Salin 3,5 % .....	36
Gambar 3.11 ICAF sederhana berupa power supply .....	37
Gambar 3.12 Plat Tembaga 15 cm x 15 cm x 1 cm.....	37
Gambar 3.13 Posisi standby Uji ICAF .....	38
Gambar 3.14 Micro Pipet .....	39
Gambar 3.15 Peralatan – peralatan dan bahan – bahan pada proses CFU .....	40
Gambar 3.16 Sampel hasil Uji ICAF.....	40
Gambar 3.17 Media NA yang beku sedang direbus agar mencair .....	41
Gambar 3.18 Skema Pelaksanaan Pour Plate Count .....	43
Gambar 3.19 Colony Counter.....	43
Gambar 4. 1 Foto jumlah Optic Density pada Eksperimen ICAF.....	56

Gambar 4. 2 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 3 menit dengan arus listrik 0.1 A.....	57
Gambar 4.3 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 3 menit dengan arus listrik 0.3 A.....	58
Gambar 4. 4 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 3 menit dengan arus listrik 0.5 A. ....	59
Gambar 4.5 Foto jumlah Optic Density pada Eksperimen ICAF.....	59
Gambar 4.6 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 5 menit dengan arus listrik 0.1 A.....	60
Gambar 4.7 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 5 menit dengan arus listrik 0.3 A.....	61
Gambar 4.8 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 5 menit dengan arus listrik 0.5 A.....	62
Gambar 4.9 Foto jumlah Optic Density pada Eksperimen ICAF.....	62
Gambar 4.10 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 7 menit dengan arus listrik 0.1 A. ....	63
Gambar 4.11 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 7 menit dengan arus listrik 0.3 A. ....	64
Gambar 4.12 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 7 menit dengan arus listrik 0.5 A. ....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja HSLA AH 36 .....	8
Tabel 2.2 Common Microorganisms Found In Conjunction with MIC .....	13
Tabel 2.3 Systems with Persistent MIC Problems .....	14
Tabel 2.4 A Chandler's Current Density Table pada buku Marine and Offshore Corrosion.....	21
Tabel 4.1 Hasil Eksperimen dengan arus listrik 0,1 Ampere .....	66
Tabel 4.2 Hasil eksperimen dengan arus listrik 0,3 Ampere .....	67
Tabel 4.3 Hasil eksperimen dengan arus listrik 0,5 Ampere .....	68

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Hasil Eksperimen dengan besar arus listrik 0,1 Ampere .....	67
Grafik 4. 2 Hasil eksperimen dengan besar arus listrik 0,3 Ampere .....	68
Grafik 4. 3 Hasil eksperimen dengan besar arus listrik 0,5 Ampere .....	69
Grafik 4. 4 Perbandingan sisa bakteri tiap variasi arus listrik.....	70
Grafik 4. 6 Persentase bakteri yang sudah mati tiap variabel .....	71



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Teknologi dalam segala aspek terus berkembang seiring menuanya zaman, begitu juga dengan teknologi dalam bidang *offshore* sampai dengan bagian-bagian spesifik bidang terkait. Dalam dunia teknologi lepas pantai, material yang paling umum digunakan sudah pasti berasal dari logam. Logam memiliki ketahanan terhadap korosi yang berbeda – beda. Karena itu, perkembangan terhadap cara agar logam itu tidak terkorosi dengan mudah sudah berkembang cukup signifikan mulai dari konsep dan lain-lain.

Masalah terhadap teroksidasinya suatu material logam berada pada hampir semua elemen yang ada di bumi, seperti air maupun udara. Korosi yang disebabkan oleh air terutama air laut pada suatu struktur lepas pantai tidak terhindarkan. *Sacrificial Anode*, *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* dan *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)* merupakan tiga dari sekian banyak cara untuk menghindari atau memperlambat korosi pada suatu material logam.

Mengingat air laut memiliki laju korosi yang cepat, disebabkan oleh salinitas yang ada pada air laut atau zat-zat terlarut berupa padat dan gas, seperti garam-garam anorganik, gas-gas terlarut dan senyawa-senyawa organik dari organisme hidup. Air laut juga merupakan zat pelarut yang mampu melarutkan zat-zat lain dalam jumlah yang besar daripada zat cair lainnya. Oleh karena itu, sistem anti korosi sangat dibutuhkan oleh semua struktur yang bersentuhan langsung dengan air laut.

Perlindungan badan kapal terhadap korosi dengan menggunakan metode perlindungan katodik pada prinsipnya adalah sel elektrokimia untuk mengendalikan korosi dengan mengkonsentrasikan reaksi oksigen pada sel galvanik dan menekan korosi pada katoda dalam sel yang sama (Wiludin A. dan Soepomo H.2013). Penggunaan sistem anti korosi seperti *sacrificial anodes* pada sistem perpipaan bawah laut, sistem tambat suatu struktur dan lainnya sudah umum

digunakan, namun sistem tersebut belum efektif digunakan pada suatu bagian struktur tertentu seperti pada bagian sistem pendingin kapal dikarenakan oleh sulitnya instalasi, inspeksi dan *maintenance* maupun cara mengganti anoda tersebut yang memakai biaya lebih. Penggunaan sistem anti korosi lainnya seperti ICCP dan ICAF harus terus dikembangkan agar kekurangan dari sistem *sacrificial* anode dapat ditutupi. Inovasi baru dalam hal tersebut juga sangat dibutuhkan guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari alat pencegah korosi tersebut. ICCP dalam segi ekonomi lebih hemat biaya dibandingkan dengan SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) (Wiludin A dan Soepomo H. 2013)

ICAF adalah singkatan dari impressed current anti fouling. Fungsinya untuk mencegah atau menghambat tumbuhnya fouling, dimana dalam hal ini disebabkan oleh biota laut, seperti teritip, kerang, ganggang, dan jenis tumbuhan laut lainnya. Fouling ini sangatlah merugikan karena menempel pada lambung kapal sehingga bisa menambah tahanan kapal (Ferianto, Marison. 2012). ICAF atau *Impressed Current Anti Fouling* tidak secara umum dipakai oleh kapal – kapal terutama di Indonesia. Penelitian mengenai seberapa efektif sistem tersebut membunuh suatu *fouling* masih terbatas. Jurnal – jurnal mengenai eksperimen terkait juga jarang ditemukan, jika ada jurnal tersebut masih lebih privat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah ICAF efektif dalam membunuh organisme *fouling*, terutama untuk bakteri penyebab bertambahnya laju korosi akibat produk dari aktivitas bakteri tersebut. Dengan menggunakan 2 variabel utama yaitu waktu eksperimen (3, 5, dan 7 menit) dan arus listrik yang divariasikan (0,1 , 0,3 dan 0,5 Ampere) , eksperimen ini memakai bakteri *Pseudomonas fluorescens* sebagai objek dengan alasan bahwa bakteri tersebut memiliki resistansi yang cukup tinggi terhadap logam yang merupakan cara kerja dari *anti fouling*, yaitu memanfaatkan ion – ion logam seperti tembaga untuk membunuh berbagai macam *fouling*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang, penulis mengambil inti dan membuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Waktu yang diperlukan ICAF agar bakteri-bakteri penyebab *fouling* lumpuh atau mati
2. Besar arus listrik yang dikeluarkan oleh ICAF agar bakteri-bakteri penyebab *fouling* lumpuh atau mati
3. Konsentrasi atau jumlah bakteri pasca eksperimen menggunakan *ICAF* apakah jumlah bakteri berkurang atau tidak

## 1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah yang sudah tertera di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan waktu pada *Impressed Current Anti Fouling* dalam mencegah tumbuhnya *bio fouling*
2. Mendapatkan besar arus listrik pada *Impressed Current Anti Fouling* dalam mencegah tumbuhnya *bio fouling*
3. Mendapatkan perbandingan konsentrasi jumlah bakteri antara sebelum dilakukan eksperimen dengan *ICAF* dan setelah eksperimen usai dilaksanakan

## 1.4 Manfaat Penelitian

Dari eksperimen ini, diharapkan dapat berguna dalam penggunaan ICAF pada *sea chest* kapal yang memiliki sistem pendingin menggunakan air laut dalam segi pemakaian arus yang efektif terhadap bakteri – bakteri *fouling* penyebab pertambahan laju korosi, dan waktu yang dibutuhkan untuk melumpuhkan atau membunuh bakteri *fouling* tersebut agar dapat menghemat daya listrik yang digunakan.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah adalah sesuatu yang dibatasi dalam penelitian ini sehingga dapat membantu dalam tujuan penelitian. Berikut merupakan batasan – batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Rangkaian listrik yang digunakan sebagai ICAF sederhana dalam eksperimen adalah rangkaian listrik sederhana arus searah (DC) atau *power supply*
2. Besar arus listrik (Ampere) yang digunakan adalah 0.1, 0.3, dan 0.5 Ampere karena pembacaan dan *output* dari ICAF sederhana terbatas (minimal 0.01 Ampere dan maksimal 2 Ampere. Jika arus listrik yang dipakai 0.1 Ampere kebawah, dikhawatirkan volume air pada reaktor akan terlalu sedikit
3. Variasi waktu eksperimen yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah 3 menit, 5 menit dan 7 menit
4. Katoda dan anoda yang digunakan dalam eksperimen ini yaitu Baja AH 36 sebagai katoda dan tembaga sebagai anoda
5. Bakteri laut yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *Pseudomonas fluorescens*
6. Salinitas 3,5%
7. Metode penghitungan jumlah bakteri pasca eksperimen adalah metode *Pour Plate Count* dengan standar dari *SPC (Standard Plate Count)*

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian berupa analisa dan eksperimen pada ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*) belum cukup umum, namun keserupaan ICAF dengan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) sebagai pengganti sistem *Sacrificial Anodes* membuat ICAF berharga untuk diteliti lebih lanjut. Berikut ini adalah beberapa referensi yang berhubungan dengan judul Tugas Akhir ini :

1. Marison Ferianto P. (2012) memiliki jurnal yang membahas tentang analisa pemakaian ICAF sebagai pencegah *fouling* pada sistem pendingin kapal dengan menganalisa data yang tersedia. Beliau menyebutkan bahwa arus listrik yang dibutuhkan untuk mengalirinya penampang sebesar 13m<sup>2</sup> adalah 1,04 Ampere.
2. Afif Wiludin dan Heri Soepomo (2013) mengungkapkan dalam jurnalnya bahwa sistem ICCP atau *Impressed Current Cathodic Protection* lebih ekonomis dibandingkan dengan SACP atau *Sacrificial Anode Cathodic Protection*.
3. Virender Singh, dkk. (2010) telah meneliti bahwa kadar tembaga yang dibutuhkan untuk membunuh bakteri *Pseudomonas fluorescens* adalah sebesar 300 µg/ml

#### **2.2 Baja**

Baja adalah logam dari paduan besi (Fe) dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Unsur – unsur lainnya seperti mangan (Mn), silikon (Si) dan nikel (Ni) dapat juga terdapat pada suatu campuran baja dengan presentasi kecil. Fungsi dari karbon adalah sebagai penguat agar mencegah dislokasi antara celah – celah antar atom baja. Semakin banyak jumlah dan variasi dari unsur – unsur yang dipakai sebagai campuran baja selain karbon, maka baja tersebut dapat memiliki karakteristik yang berbeda dari baja lainnya. Krom, boron, titanium dan vanadium

adalah beberapa contoh dari unsur logam campuran yang dapat dikombinasi dengan baja sehingga suatu baja kualitas tertentu bisa didapatkan.

Berdasarkan kandungan karbon, (Beumer, B.J.M., 1994) membuat baja dibedakan menjadi:

1. Baja Karbon rendah (0,05% - 0,35% C)
2. Baja Karbon Menengah (0,35% - 0,50% C)
3. Baja Karbon Tinggi (0,50% - 1,7% C)

Kadar karbon mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap mutu baja. Baja dengan kadar karbon 0,1 – 0,35% tidak dapat dikeraskan (dipijarkan dan didinginkan tiba-tiba). Baja dengan kadar karbon rendah mempunyai nilai kekerasan yang rendah pula. Makin rendah kadar karbonnya maka baja tersebut makin lunak dan mudah ditempa, sebaliknya makin tinggi kadar karbonnya maka makin besar pula nilai kekerasannya. Sifat mekanis baja juga dipengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut Schonmetz (1985) terdapat 3 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

1. Ferit, yaitu besi murni (Fe) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan bagian baja yang paling lunak, ferrit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
2. Karbid besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), suatu senyawa kimia antara besi dengan karbon sebagai struktur tersendiri yang dinamakan sementit. Peningkatan kandungan karbon akan menambah kadar sementit. Sementit dalam baja merupakan unsur yang paling keras.
3. Perlit, merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel

### 2.2.1 Baja HSLA Grade AH 36

Lambung kapal biasanya terbuat dari baja HSLA (*High Steel Low Alloy*), High strength low alloy (HSLA) adalah jenis baja paduan yang memberikan sifat mekanik yang lebih baik atau resistensi besar terhadap korosi dari baja karbon. Baja HSLA bervariasi dari baja lain bahwa HSLA Steel tidak dibuat untuk memenuhi komposisi kimia tertentu melainkan untuk sifat mekanik khusus. HSLA Steel memiliki kandungan karbon antara 0,05-0,25% untuk mempertahankan sifat mampu bentuk dan mampu las. Elemen paduan lain mencakup hingga 2,0% jumlah mangan dan kecil dari tembaga, nikel, niobium, nitrogen, vanadium, kromium, molibdenum, titanium, kalsium, unsur tanah jarang, atau zirkonium, Tembaga, titanium, vanadium, dan niobium ditambahkan untuk tujuan memperkuat. Unsur-unsur ini dimaksudkan untuk mengubah struktur mikro baja karbon (Nandyo A. 2008).

Baja HSLA Grade AH 36 termasuk kedalam baja berkarbon rendah yaitu sekitar 0,062% (Tri Sudrajat, Achmad. 1990). Plat ini biasa digunakan pada bagian bawah kapal karena baja karbon rendah dapat lebih mudah ditekuk atau memiliki kelenturan yang termasuk tinggi sehingga dapat mengikuti lekuk *body* kapal terutama pada bagian lambung paling depan dan belakang kapal yang umumnya melengkung. Baja ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi, lebih kuat dan memiliki resisten terhadap korosi yang cukup besar. Jenis baja ini dapat digunakan dalam desain kapal laut dengan berat diatas 10.000 ton.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja HSLA AH 36

Grade	C	Si	Mn	P	S	Als	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo	Nb	V
	max	max		max	max	min	max	max	max	max	max		
AH36	0.18	0.50	0.90- 1.60	0.035	0.035	0.015	0.02	0.35	0.20	0.40	0.08	0.02- 0.05	0.05- 0.10

Sumber : (<http://www.shipbuilding-steel.com/Products/AH36.html>)

### 2.3 Korosi

Korosi adalah suatu reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tak dikehendaki. Korosi terjadi secara alami tanpa pengaruh mekanis atau dalam kata lain disebabkan oleh lingkungan/alam. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan. Korosi termasuk dalam proses elektrokimia, yaitu proses reaksi kimia yang melibatkan aliran listrik menuju kesetimbangan termodinamika suatu sistem. Perbedaan potensial antara dua kutub yaitu katoda sebagai yang berpotensi lebih tinggi dan anoda yang berpotensi rendah. Kutub dari logam yang memiliki potensial lebih rendah akan teroksidasi. Anoda teroksidasi karena ia kehilangan elektron-elektron yang ada

Logam – logam yang terserang oleh korosi mengalami degradasi atau deteorisasi tentunya merugikan dari segi ekonomi dan teknis. Misalkan *Lifetime* dari suatu struktur yang berkurang akan memengaruhi kedua aspek tersebut secara signifikan. Jika kekuatan dan ketahanan material logam dalam suatu struktur menurun, tentunya dapat mengakibatkan kegagalan struktur yang berujung pada kerugian besar suatu perusahaan yang memilikinya.

Korosi akan dan hanya akan terjadi bila di metal terjadi sebuah siklus tertutup yang dinamakan “corrosion cell”. *Corrosion cell* adalah sirkuit elektrik imajiner media berpindahnya electrons dan ions dari dua logam dengan muatan yang berbeda. Di dalam corrosion cell selalu terdapat empat faktor :



1. Anoda: adalah bagian logam yang bermuatan positif atau memiliki nilai potensial yang lebih lemah (istilahnya less noble metal). Dan bila korosi terjadi pada dua metal yang berlainan, anoda adalah jenis metal yang memiliki energi potensial lebih kecil terhadap metal lainnya. Di anoda adalah bagian metal yang akan terkorosi (kehilangan bagiannya, misalnya larut di elektrolit dsb.)
2. Katoda: adalah bagian logam yang bermuatan negatif atau memiliki nilai potensial yang lebih tinggi (istilahnya more noble metal). Dan bila korosi terjadi pada dua metal yang berlainan, katoda adalah jenis metal yang memiliki energi potensial lebih tinggi terhadap metal lainnya. Di katoda adalah bagian metal yang mungkin terjadi deposit saat terjadi korosi, sangat jarang kehilangan bagiannya.
3. *Metallic pathway*: adalah konduktor yang menghubungkan anoda dan katoda. Ia dapat berupa kontak logam-ke-logam, atau factor eksternal seperti kabel, baut (system bolting), deck support, system suspensi, atau sejenisnya) atau bila korosi terjadi dalam satu jenis logam saja, maka metallic pathway-nya adalah logam itu sendiri... yang terpenting disini methalic pathway merupakan jembatan mengalirnya elektron (arus listrik) diantara anoda dan katoda.
4. Elektrolit: adalah liquid, atau medium yang menghantarkan listrik (mengandung ions). Ini membuktikan bahwa di dalam banyak kasus korosi dengan mudah terjadi dilingkungan yang lembab atau mengandung banyak air. Air yang mengandung ions dan menghantarkan listrik. Semakin besar kandungan ion di dalam suatu elektrolit, akan semakin baik daya hantar listriknya, maka akan semakin cepat pula rate korosi yang akan dihasilkan. Hanya sedikit kasus korosi yang terjadi di kondisi special yang kering seperti di permesinan atau system gas buang (exhaust system). Bila suatu logam besi dicelupkan kedalam air laut, maka air laut itu sendiri merupakan elektrolit dan air laut merupakan elektrolit yang sangat baik. Selain air laut, embun atau air yang mudah menyerap partikel-

partikel ions atau garam dari permukaan logam atau atmosfer sekitar juga akan membentuk elektrolit yang efektif.

5. Oksigen: Sebenarnya keempat faktor diatas sudah cukup untuk menghasilkan korosi, tetapi kecepatan korosi yang dihasilkan lambat. Di dalam banyak hal oksigen adalah penyebab percepatan korosi. Jadi ada literatur yang menjelaskannya sebagai faktor kelima (dalam tanda kutip). Oksigen dalam proses korosi dapat diperoleh udara sekitar, larut didalam air, atau bagian dari atmosfer. Keberadaan oksigen akan mempercepat laju korosi terjadi sebab oksigen akan bereaksi dengan logam saat logam melepaskan energi elektrikalnya

Di dalam medium basah, korosi dapat terjadi secara seragam maupun secara terlokalisasi. Contoh korosi seragam di dalam medium basah adalah apabila besi terendam di dalam larutan asam klorida (HCl). Korosi di dalam medium basah yang terjadi secara terlokalisasi ada yang memberikan rupa makroskopis, misalnya peristiwa korosi galvanis sistem besi-seng, korosi erosi, korosi retakan, korosi lubang, korosi pengelupasan, serta korosi pelumeran, sedangkan rupa yang mikroskopis dihasilkan misalnya oleh korosi tegangan, korosi patahan, dan korosi antar butir. Sebagian korosi logam khususnya besi, terkorosi di alam melalui cara elektrokimia yang banyak menyangkut fenomena antar muka. Hal inilah yang banyak dijadikan dasar utama pembahasan mengenai peran pengendalian korosi.

### **2.3.1 Jenis-jenis Korosi**

Dibawah ini merupakan beberapa jenis dari korosi berdasarkan penyebabnya :

#### **1. Korosi Galvanis (*Bimetal Corrosion*)**

Merupakan perkaratan elektrokimia apabila dua macam logam yang memiliki potensial berbeda berada dalam satu media elektrolit secara langsung. Elektron mengalir dari logam anodik atau yang berpotensi lebih rendah ke logam katodik atau berpotensi lebih tinggi. Proses tersebut mengakibatkan ion-ion positif dari logam anodik keluar

karena kehilangan elektron. Ion-ion positif dari anoda akan bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada dalam elektrolit menjadi garam metal. Lalu permukaan anoda kehilangan metal sehingga terbentuk sumur-sumur karat.

2. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi ini terjadi karena komposisi logam yang heterogen sehingga menyebabkan korosi yang dalam pada beberapa tempat. Adanya kontak antar logam yaitu pada daerah batas juga akan menimbulkan korosi berbentuk sumur.

3. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena gerakan relative yang menimbulkan gesekan antara fluida korosif dan permukaan metal

4. Korosi Tegangan (*Stress Corrosion*)

Korosi yang terjadi karena tegangan dan regangan dari suatu material dan media korosif secara langsung

5. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain atau non logam dan diantaranya terdapat celah yang dapat menahan kotoran dan air sebagai sumber terjadinya korosi. Konsentrasi Oksigen pada mulut lebih kaya dibandingkan pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut menjadi katodik. Maka terjadi aliran arus dari dalam menuju mulut logam yang menimbulkan korosi. Atau juga perbedaan konsentrasi zat asam. Dimana celah sempit yang terisi elektrolit (pH rendah) maka terjadilah sel korosi dengan katodanya permukaan sebelah luar celah yang basah dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam dari pada daerah dalam yang bersifat anodik. Maka dari sinilah terjadinya korosi dengan adanya katoda dan anoda.

6. Korosi Lubang/Kavitasi (*Cavitation Corrosion*)

Terjadi karena tingginya kecepatan cairan menciptakan daerah-daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada permukaan peralatan dimana cairan tersebut mengalir. Maka terjadilah gelembung-gelembung uap air pada permukaan tersebut, yang apabila pecah kembali menjadi cairan akan menimbulkan pukulan pada permukaan yang cukup besar untuk memecahkan film oksida pelindung permukaan. Akibatnya bagian permukaan yang tidak terlindungi terserang korosi. Karena bagian tersebut menjadi anodik terhadap bagian yang terlindungi.

7. Korosi Kelelahan (*Fatigue Corrosion*)

Terjadi karena adanya beban siklik terhadap suatu logam yang dikombinasi dengan korosi. Korosi *fatigue* terjadi pada daerah yang mendapat beban, bagian las dan lainnya.

8. Korosi Biologi (*Biological Corrosion*)

Korosi biologi adalah proses korosi yang terjadi akibat pengaruh makroorganisme atau mikroorganisme hidup.

## 2.4 Korosi Biologi (*Biological Corrosion*)

Fenomena korosi yang disebabkan oleh aktifitas organisme sudah termasuk dalam korosi mayor, karena akibat yang timbul sangat signifikan, seperti pada kaki-kaki pada suatu platform, jembatan, dan dermaga di pelabuhan. (Cowie, Phillip R. *et al*, 2007) Korosi jenis ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. *Macro fouling*

Korosi biologi ini disebabkan oleh aktifitas organisme makro atau organisme yang masih dapat dilihat kasat mata, seperti kerang-kerangan.

2. *Micro Fouling*

Korosi biologi jenis ini disebabkan oleh aktifitas organisme *micro* atau organisme yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang.

Banyak pula yang menyebutnya dengan *MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)*.

#### 2.4.1 *MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)*

Korosi akibat alga dan bakteri adalah yang paling umum dalam kategori korosi biologi. Jenis-jenis mikroorganisme yang berpengaruh terhadap korosi yang terjadi dalam dunia maritim lebih banyak dari makroorganisme. Keunikan dan keberagaman cara mikroorganisme menyebabkan korosi pada suatu material struktur membuat mikroorganisme harus diperhatikan dan diteliti lebih lanjut.

Tabel 2.2 Mikroorganisme yang dimasukkan kedalam kategori *MIC*

**Table 2. Common Microorganisms Found in Conjunction with Microbiologically Influenced Corrosion[10].**

	Genus or Species	pH	Temperature (°F)	Oxygen Requirement	Metals Affected	Metabolic Process
	Desulfovibrio	4-8	50-105	Anaerobic	Iron and steel, stainless steels, aluminum, zinc, copper alloys	Use hydrogen in reducing $SO_4^{2-}$ to $S^{2-}$ and $H_2S$ ; promote formation of sulfide films
	Desulfotomaculum	6-8	50-105 (some at 115-165)	Anaerobic	Iron and steel, stainless steels	Reduce $SO_4^{2-}$ to $S^{2-}$ and $H_2S$
	Desulfomonas	-	50-105	Anaerobic	Iron and steel	Reduce $SO_4^{2-}$ to $S^{2-}$ and $H_2S$
	Acidithiobacillus thiooxidans	0.5-8	50-105	Aerobic	Iron and steel, copper alloys, concrete	Oxidizes sulfur and sulfides to form $H_2SO_4$ ; damages protective coatings
	Acidithiobacillus ferrooxidans	1-7	50-105	Aerobic	Iron and steel	Oxidizes ferrous ( $Fe^{2+}$ ) ions to ferric ( $Fe^{3+}$ ) ions
Bacteria	Gallionella	7-10	70-105	Aerobic	Iron and steel, stainless steels	Oxidizes ferrous to ferric ions and manganous ( $Mn^{2+}$ ) to manganic ( $Mn^{3+}$ ) ions; promotes tubercule formation
	Siderocapsa	-	-	Microaerophilic	Iron and carbon steel	Oxidizes iron
	Leptothrix	6.5-9	50-95	Aerobic	Iron and steel	Oxidizes ferrous to ferric ions and manganous to manganic ions
	Sphaerotilus	7-10	70-105	Aerobic	Iron and steel, stainless steels	Oxidizes ferrous to ferric ions and manganous to manganic ions; promotes tubercule formation
	Sphaerotilus natans	-	-	-	Aluminum alloys	-
	Pseudomonas	4-9	70-105	Aerobic	Iron and steel, stainless steels	Some strains reduce $Fe^{3+}$ to $Fe^{2+}$
	Pseudomonas aeruginosa	4-8	70-105	Aerobic	Aluminum alloys	-
Fungi	Cladosporium resinae	3-7	50-115 (best at 85-95)	-	Aluminum alloys	Produces organic acids when metabolizing certain fuel constituents

Sumber : AMPTIAC , Quarterly, Volume 9, Number 1., 2005

Tabel 2.3 Berbagai sistem pada bangunan laut yang dapat terpengaruh MIC

**Table 1. Systems with Persistent Microbiologically Influenced Corrosion Problems[2].**

Application/System	Problem Components/Areas	Microorganisms
Pipelines/storage tanks (water, wastewater, gas, oil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stagnant areas in the interior</li> <li>Exterior of buried pipelines and tanks, especially in wet clay environments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aerobic and anaerobic acid producers</li> <li>Sulfate reducing bacteria</li> <li>Iron/manganese oxidizing bacteria</li> <li>Sulfur oxidizing bacteria</li> </ul>
Cooling systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cooling towers</li> <li>Heat exchangers</li> <li>Storage tanks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aerobic and anaerobic bacteria</li> <li>Metal oxidizing bacteria</li> <li>Slime forming bacteria</li> <li>Algae</li> <li>Fungi</li> </ul>
Docks, piers, and other aquatic structures	<ul style="list-style-type: none"> <li>Splash zone</li> <li>Just below low tide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sulfate reducing bacteria</li> </ul>
Vehicle fuel tanks	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stagnant areas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fungi</li> </ul>
Power generation plants	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heat exchangers</li> <li>Condensers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aerobic and anaerobic bacteria</li> <li>Sulfate reducing bacteria</li> <li>Metal oxidizing bacteria</li> </ul>
Fire sprinkler systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stagnant areas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anaerobic bacteria</li> <li>Sulfate reducing bacteria</li> </ul>

Sumber : AMPTIAC , Quarterly, Volume 9, Number 1,. 2005

Dari sekian banyak mikroorganisme yang dapat menyebabkan korosi pada suatu material struktur, *Pseudomonas Fluorescens* merupakan bakteri yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Alasan penulis memilih bakteri ini adalah pada deskripsi sebagai berikut :

#### 1. *Pseudomonas Fluorescens*

*Pseudomonas fluorescens* adalah aerob obligat, gram basil negatif. Bakteri ini mampu menghuni banyak lingkungan, termasuk: tanaman, tanah, dan air permukaan. Namanya berasal dari produksi dari larut neon pigmen pyoverdin. Termasuk kedalam bakteri yang dapat ditemukan dimana saja (ubiquitous), seringkali ditemukan pada bagian tanaman (permukaan daun dan akar) dan sisa tanaman yang membusuk, tanah dan air. (Ardiana Kartika B. 2012).

Mikroba ini memiliki beberapa flagela polar untuk gerakan dan menggunakan siderphores untuk membantu dalam mencari nutrisi. Bakteri ini mudah untuk dipelihara, saat mereka tumbuh pada media minimal dan pada 25-30 derajat Celcius. Mereka juga tumbuh cukup cepat. Di seluruh produksi mikroba ini sangat ekonomis.

*P. fluorescens* memiliki daya tahan tinggi terhadap logam-logam berat seperti tembaga, kadmium dan krom. Derajat toksik dari suatu logam seperti krom dapat direduksi ( $\text{Cr}^{6+}$  menjadi  $\text{Cr}^{3+}$ ). Karena memiliki kemampuan tersebut, bakteri ini berhasil digunakan dalam remediasi ion kadmium dalam suatu larutan (Misra dalam Lederberg 1992). Bakteri ini juga dapat mengikat kation dari uranium, tembaga, timbal dan ion-ion logam berat lain dari suatu limbah (Ishak Isa, dkk, 2013)



Gambar 2.1 *Pseudomonas fluorescens* pada mikroskop  
(<http://wsm.wsu.edu/discovery/wp-content/uploads/2009/05/pseudomonas-fluorescens-d7-full.jpg> , diakses pada 20 Maret 2017)

## 2.5 Penghambatan Korosi akibat Organisme atau Bio-Fouling

Fouling terjadi saat struktur atau kapal yang terendam secara terus menerus dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama. Fouling umumnya terjadi ketika kapal dalam kondisi stasioner (artinya tidak bergerak), sehingga untuk struktur atau bangunan yang terendam air secara terus menerus dengan tidak bergerak

akan membuat tempat berkembang biak bagi organisme fouling dengan cepat, hal ini merupakan makanan dan tempat tinggal bagi organisme laut. Fouling tidak terjadi pada bawah lambung kapal saja tetapi dapat menyerang structure atau material lain yang terendam air secara terus menerus tanpa adanya pencegahan.

Sebenarnya kata menghambat akan lebih masuk akal dalam pembahasan kali ini, karena *bio-fouling* akan terus terjadi selama faktor - faktor pemicu yang berpotensi masih ada. Oleh karena itu, ada beberapa cara untuk menghambat pertumbuhan korosi pada struktur - struktur yang membutuhkan, diantaranya :

### **2.5.1 Sacrificial Anodes**

Penghambatan laju korosi dengan cara ini sudah umum dilakukan didunia teknik dan perindustrian. Penggunaan anoda korban untuk sistem pengendalian korosi dapat berbentuk lapisan di seluruh permukaan logam seperti pada baja yang digalvanisasi atau ditempel secara menyebar. Anoda yang ditempelkan akan menyebabkan distribusi arus tidak merata pada permukaan logam yang dilindungi.

Anoda yang dipasang bersifat lebih anodik dari logam yang dilindungi, karena logam anodik akan terkorosi lebih dahulu. Pemilihan anoda korban didasarkan pada konduktivitas lingkungan. Logam yang umum digunakan sebagai anoda korban adalah Zinc, Aluminium dan Magnesium.

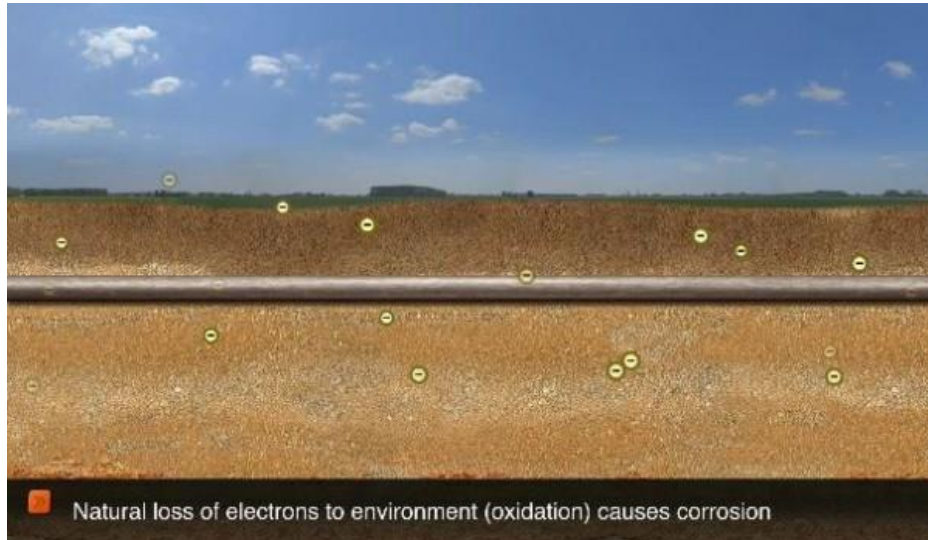
### **2.5.2 ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*)**

Tidak seperti prinsip sacrificial anode, metode ini membutuhkan arus listrik DC (searah) dari sumber luar yang dihubungkan dengan logam anode dengan logam katode (logam yang dilindungi). Anode system ICCP ini dapat berbentuk batangan tubular dari berbagai material khusus, seperti: high silicon cast iron, grafit, campuran logam oksida, platina dan niobium. Metode ini biasanya digunakan untuk mem- proteksi fasilitas -fasilitas yang besar.

Metode ICCP harus dihubungkan dengan arus listrik DC, jika arus listrik nya AC maka harus dihubungkan dengan rectifier (penyearah arus)



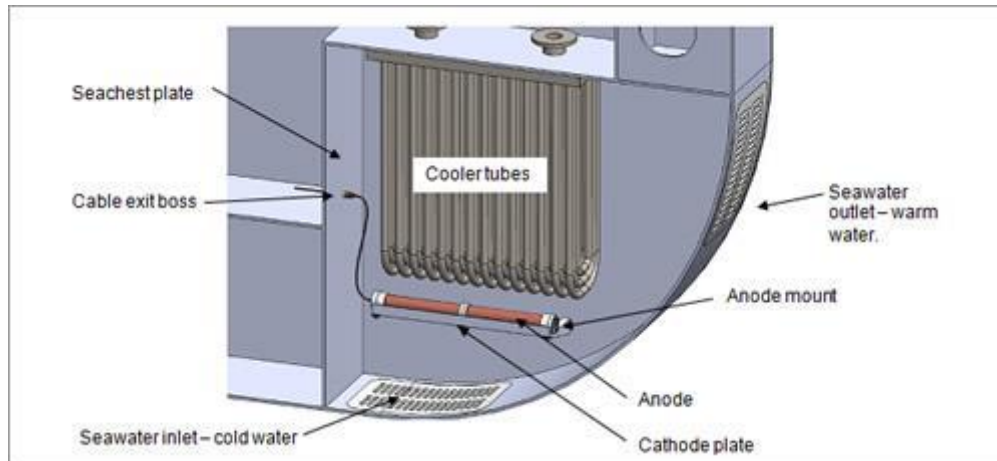
karena fungsi dari sumber listrik DC ini adalah untuk mengarahkan elektron yang teroksidasi dari anode menuju ke logam yang dilindungi sehingga logam tersebut tidak mudah untuk teroksidasi (korosi) karena kehilangan elektronnya.



Gambar 2.2 Pipeline tanpa ICCP Protection (trialexhibitsinc.com , diakses pada 13 Maret 2017)

### 2.5.3 ICAF (*Impressed Current Anti Fouling*)

Pada umumnya, cara kerja *ICAF* dengan *ICCP* sangat serupa, namun perbedaan terletak pada tempat aplikasi dari *ICAF* ini yaitu pada daerah lambung kapal, sistem pendingin kapal, jaringan pipa – pipa yang rawan terserang korosi akibat dari organisme, terutama mikroorganisme. *ICCP* lebih berfokus pada korosi akibat selain dari organisme hidup pada dasarnya.



Gambar 2.3 Ilustrasi ICAF pada sistem pendingin di seachest kapal  
(<http://www.liveyachting.com/wp-content/uploads/2010/01> , diakses pada 13 Februari 2017)

Gambar diatas merupakan gambar umum dari ICAF. Anoda yang terletak dibawah *coolertubes* dialirkan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik pada suatu kapal melalui kabel yang terpasang. Intinya adalah karena anoda – anoda tersebut akan mengeluarkan ion – ion untuk membunuh segala jenis *fouling* yang masuk dari *inlet* kapal, sehingga tidak membuat *cooler tubes* pada *sea chest* kapal terjangkau *fouling*.

Pada sistem ini menggunakan arus DC karena untuk menyuplai anoda dan katoda harus dibedakan antara sumber arus positif maupun negatifnya. Baik anoda maupun katoda tersebut terdapat berbagai macam jenis, tergantung dari material yang akan dilindungi maupun berapa lama waktu yang digunakan (Marison Feriandi P.2012).

Berikut adalah anoda – anoda yang dapat dipakai pada sistem *ICAF* :

- a. Anoda Tembaga Anoda jenis ini biasa digunakan untuk melindungi pipa yang terbuat dari baja



Gambar 2.4 Anoda tembaga

(<http://www.cathelco.com/mgps-related-products/types-of-mgps-anodes/> , diakses pada 4 Februari 2017)

- b. Anoda Aluminium Digunakan sebagai pelindung pipa baja dan juga bisa sebagai anti korosif



Gambar 2.5 Anoda aluminium

(<http://www.cathelco.com/mgps-related-products/types-of-mgps-anodes/> , diakses pada 4 Februari 2017)

- b. Anoda Besi Digunakan sebagai pelindung material yang terbuat dari besi.



Gambar 2.6 Anoda besi

(<http://www.cathelco.com/mgps-related-products/types-of-mgps-anodes/> , diakses pada 4 Februari 2017)

d. Dual Purpose Anode adalah kombinasi dari beberapa anoda dengan jenis berbeda yang disatukan dalam satu segmen.



Gambar 2.7 Dual purpose anode

(<http://www.cathelco.com/mgps-related-products/types-of-mgps-anodes/> , diakses pada 4 Februari 2017)

e. Katoda Pada prinsipnya adalah sistem tertutup antara anoda dan katoda melalui sumber daya yang menggunakan transformer rectifier. Untuk penggunaan katoda bisa menggunakan katoda logam lain ataupun menggunakan grounding pada konstruksi linier generator. Kebutuhan Arus pada ICAF sebagai Proteksi Pada sistem ICAF yang akan memberikan proteksi terhadap plat yang akan dilindungi diperlukan kebutuhan arus yang akan menyuplai ke tiap anoda dan katoda yang terpasang. Arus tersebut disebut sebagai arus proteksi. Besarnya arus tersebut dapat dihitung dengan rumusan (Chandler, 1985)

$$I_p = A \times \frac{cd}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$I_p$ : Kebutuhan arus proteksi (A)

A: Luas penampang bagian yang dilindungi ( $m^2$ )

Cd: Densitas arus minimum ( $mA/m^2$ )

Tabel 2.4 *A Chandler's Current Density Table pada buku Marine and Offshore Corrosion*

Location	Current Density			Water Resistivity Ohm-cm)
	Initial	Mean	Final	
North Sea	160	120	100	26 - 30
Arabian Gulf	120	90	80	15
India	120	90	80	18
Australia	120	90	80	23 - 30
Brazil	120	90	80	20
Indonesia	100	90	70	19
Gulf Of Mexico	100	80	70	20
West Africa	120	90	80	20 - 30

Sumber : Chandler, K.A. (1985). Marine and offshore corrosion. London: Butterworths

Besar dari densitas arus minimum disesuaikan dengan daerah perairan tempat operasionalnya sistem tersebut. Karena setiap perairan berbeda nilai suhu dan kelembaban yang mempengaruhi terhadap terjadinya fouling.

#### 2.5.4 Regulasi Terkait *ICAF (IMO dan DSB)*

Suatu sistem dapat beroperasi jika sistem tersebut layak untuk digunakan. Dalam setiap sistem dari sistem pada suatu struktur atau kapal pasti memiliki standard kelayakan atau *rules* yang memiliki beberapa syarat dan ketentuan apakah suatu sistem terkait layak untuk dioperasikan atau tidak. Apabila syarat dan ketentuan dalam *rules* tersebut tidak memenuhi, maka sistem tersebut dilarang untuk beroperasi.

Dalam IMO LEG/MISC.8, terdapat beberapa paragraf mengenai dilarangnya pemakaian *Anti Fouling Systems* sebagai berikut :

- 1 "Pada hari-hari awal kapal layar, kapur dan arsenik digunakan untuk melapisi lambung kapal, sampai industri bahan kimia modern

mengembangkan cat anti-fouling yang efektif dengan menggunakan senyawa metalik. Senyawa ini perlahan "melebur" ke dalam air laut, membunuh teritip dan kehidupan laut lainnya yang melekat pada kapal. Tapi penelitian telah menunjukkan bahwa senyawa ini bertahan di air, membunuh sealife, membahayakan lingkungan dan mungkin memasuki rantai makanan. Salah satu cat anti-fouling yang paling efektif, yang dikembangkan pada tahun 1960an, mengandung organosterin tributyltin (TBT), yang telah terbukti menyebabkan deformasi pada tiram dan perubahan seks pada whelks. Efek lingkungan yang berbahaya dari senyawa organotin diakui oleh IMO pada tahun 1989. Pada tahun 1990 Komite Perlindungan Lingkungan Laut IMO mengadopsi sebuah resolusi yang merekomendasikan agar Pemerintah mengadopsi langkah-langkah untuk menghilangkan penggunaan cat anti-fouling yang mengandung TBT pada kapal yang tidak dikarbonasi dari aluminium Kurang dari 25 meter dan menghilangkan penggunaan cat anti-fouling dengan tingkat pencucian lebih dari empat microgrammes TBT per hari. Pada bulan November 1999, IMO mengadopsi sebuah resolusi Majelis yang meminta MEPC untuk mengembangkan instrumen, mengikat secara hukum di seluruh dunia, untuk mengatasi dampak berbahaya dari sistem anti-fouling yang digunakan pada kapal. Resolusi tersebut meminta pelarangan global atas penerapan senyawa organotin yang bertindak sebagai biosida dalam sistem anti-fouling pada kapal pada tanggal 1 Januari 2003, dan larangan lengkap pada tanggal 1 Januari 2008. Instrumen ini kemudian diadopsi sebagai Konvensi Internasional tentang Pengendalian Sistem Anti-fouling Berbahaya pada Kapal. "

2. "Berdasarkan ketentuan Konvensi, Pihak pada Konvensi diharuskan untuk melarang dan / atau membatasi penggunaan sistem anti-fouling yang merugikan pada kapal yang mengibarkan bendera mereka, dan juga kapal yang tidak berhak untuk menerbangkan

bendera mereka namun beroperasi di bawah Otoritas mereka dan semua kapal yang memasuki pelabuhan, galangan kapal atau terminal lepas pantai suatu Pihak. Lampiran I yang dilampirkan pada Konvensi menyatakan bahwa pada tanggal efektif 1 Januari 2003, semua kapal tidak akan menerapkan atau menerapkan kembali senyawa organotin yang bertindak sebagai biosida dalam sistem anti-fouling, dan pada tanggal 1 Januari 2008 (tanggal efektif), kapal-kapal :

- (A) tidak menanggung senyawa tersebut pada lambung atau bagian luar atau permukaannya; atau
- (B) mengandung lapisan yang membentuk penghalang untuk senyawa semacam itu yang terlepas dari sistem anti-fouling yang tidak sesuai.

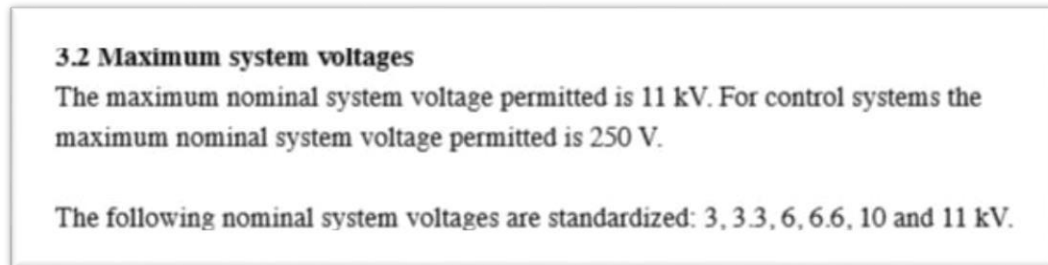
Hal ini berlaku untuk semua kapal (kecuali platform tetap dan apung, unit penyimpanan terapung (floating storage unit / FSU), dan penyimpanan produksi terapung dan unit pemuatan off-loading (FPSO) yang telah dibangun sebelum 1 Januari 2003 dan yang belum berada di tempat kering Atau setelah 1 Januari 2003. "

Kesimpulan yang dapat diambil dari beberapa paragraf dalam IMO LEG/MISC.8 tentang *Anti Fouling* :

- *Anti Fouling Systems* yang dimaksud adalah cat sebagai *coating* kapal
- Zat berbahaya yang dimaksud adalah *organotin compound* yang terdapat pada *coating*
- *Organotin* atau *TBT* berbahaya karena dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem bawah laut
- *Anti Fouling* berupa *coating* mulai dilarang tahun 2001

ICAF adalah sistem *Anti Fouling* dengan menggunakan aliran listrik untuk mencegah menempel serta tumbuhnya *biofouling* pada sistem pendingin dan perpipaan kapal.DSB (*Norwegian Directorate for Civil*

*Protection*) memiliki regulasi yang mengatur instalasi suatu sistem dalam pengoperasian sistem maritim. Berikut adalah voltase maksimum yang dapat digunakan :



Gambar 2. 8 Voltase nominal yang diperbolehkan pada sistem di bidang maritim dalam (DSB, 2012)

Dari rules diatas terlihat bahwa batas maksimum voltase yang diijinkan adalah 11 kV. Sedangkan ICAF dalam pengoperasiannya hanya membutuhkan arus sekitar 1 – 5 Ampere dan tegangan dibawah 100 V. Ini menunjukan bahwa sistem ICAF memiliki resiko yang sangat tidak signifikan terhadap lingkungan laut, sehingga sistem ini tidak mengganggu aktivitas makhluk hidup disekitar kapal yang memiliki sistem ICAF tersebut.

## **2.6 Total Plate Count**

*TPC (Total Plate Count)* adalah metode untuk menghitung perkiraan jumlah bakteri secara tidak langsung dengan menghitung jumlah koloni mikroorganisme yang masih hidup pada media agar tanpa menghitung jumlah selnya. Dengan *TPC* kita dapat menghitung jumlah bakteri yang masih hidup tanpa mikroskop atau alat canggih, yaitu dengan menghitung jumlah koloni pada suatu cawan yang sudah berisi suatu bakteri yang telah tumbuh pada *media agar* didalam cawan petri tersebut. Namun metode ini juga memiliki kekurangan, yaitu memerlukan persiapan dan waktu inkubasi selama minimal satu hari agar pertumbuhan koloni dapat dihitung (Pelczar, 2008). Dan karena sifat dari metode ini sensitif, kondisi keadaan sekitar pada saat metode ini dilakukan juga sangat berpengaruh.



### 2.6.1 *Pour Plate Count*

Metode cawan tuang merupakan salah satu jenis dari metode TPC. Metode ini dipakai dalam penelitian tugas akhir karena memiliki tingkat kesulitan yang lebih rendah dari jenis TPC yang satunya, yaitu *Spread Plate Count*. Metode ini mengikuti aturan *Standard Plate Count (SPC)*. Inkubasi dilakukan pada suhu dan waktu tertentu sesuai dengan jenis mikroba yang akan dihitung. Medium agar yang digunakan juga disesuaikan dengan jenis mikroba yang akan ditumbuhkan. Selama inkubasi, sel-sel yang masih hidup akan tumbuh dan membentuk koloni yang dapat terlihat langsung oleh mata. Setiap akhir masa inkubasi, koloni yang terbentuk dihitung. Setiap koloni dapat dianggap berasal dari satu sel yang membelah menjadi banyak sel meskipun mungkin juga berasal dari lebih dari satu sel yang letaknya berdekatan. Perhitungan jumlah koloni dapat dilakukan dengan menggunakan “Quebec Colony Counter “(Pelczar, 2008). Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah mikroorganisme dengan metode ini cukup singkat, yaitu :

$$\text{Jumlah Organisme} = \frac{\text{Jumlah Koloni pada Cawan}}{\frac{1}{\text{faktor pengenceran}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- Satuan dari jumlah organisme : CFU/ml atau CFU/gr

Berikut adalah step – step penghitungan jumlah bakteri dengan *Pour Plate Count* :

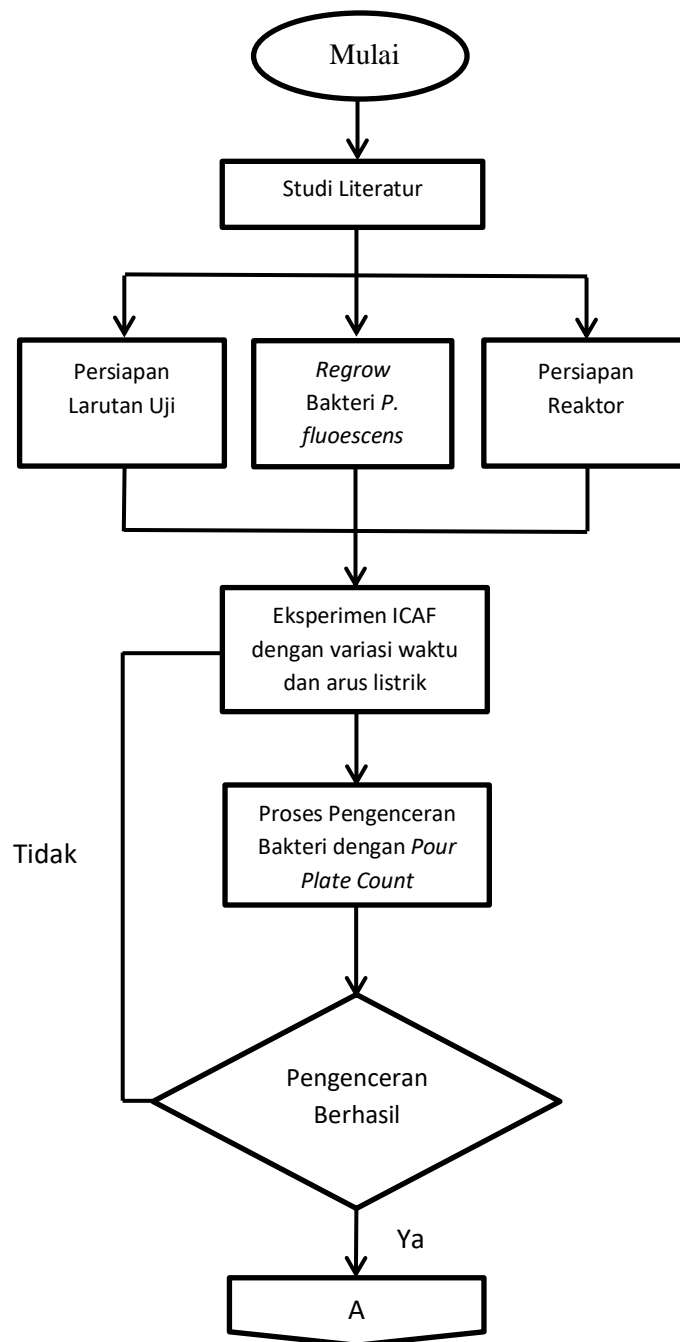
1. 1 ml sample yang akan diuji dipindahkan dengan pipet steril kedalam larutan 9 ml aquades untuk mendapatkan pengenceran  $10^{-2}$
2. Lakukan hal yang sama seperti point pertama pada pengenceran  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  sampai  $10^{-5}$  (Eksperimen ini memakai 2 cawan dalam satu pengenceran (duplo)
3. 1 ml suspensi (media kultur) dari setiap pengenceran diinokulasikan pada cawan petri kosong

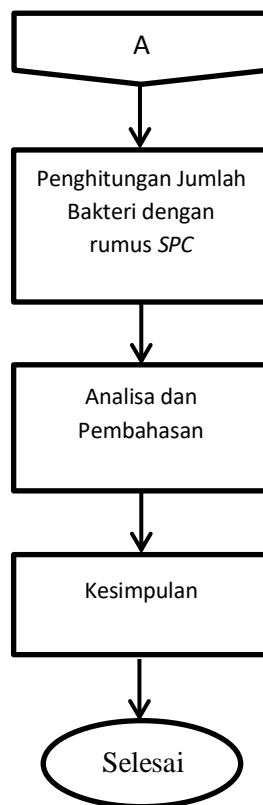
4. Tuangkan media agar yang masih cair
5. Campurkan media dengan sampel dengan memutar cawan petri mengikuti pola angka delapan
6. Inkubasi sampel pada suhu ruangan selama 1 hari
7. Hasil pertumbuhan koloni pada media agar dihitung dengan menggunakan *Coloni Counter*
8. Lalu jumlah titik (koloni) dihitung dengan rumus *SPC* untuk mendapatkan hasil perkiraan jumlah bakteri pada tiap cawan

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Langkah Kerja

Metodologi penelitian yang digunakan dapat digambarkan dalam diagram alir (*Flow Chart Diagram*) dengan pengerjaan seperti pada Gambar 4.1 berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2 Prosedur Penelitian

Sebelum penelitian atau eksperimen dilaksanakan, ada beberapa prosedur yang harus disiapkan dan diterapkan secara matang, agar penelitian yang akan dilaksanakan dapat berjalan seperti semestinya serta mengurangi resiko kegagalan eksperimen akibat suatu alat atau bahan eksperimen tidak disiapkan sehingga mengganggu Tugas Akhir ini.

#### 3.2.1 Studi Literatur

Melakukan pencarian dan pemahaman literatur seperti laporan tugas akhir dari alumni, *paper* atau jurnal dan buku yang memiliki keterkaitan dengan tugas akhir ini.

#### 3.2.2 Persiapan Peralatan dan Bahan Penelitian

Untuk melakukan suatu penelitian, diperlukan peralatan untuk membantu prosedur penelitian yang tersedia dan bahan sebagai objek atau

subjek. Berikut adalah beberapa peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian tugas akhir :

#### **i.Peralatan**

- |                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| a. Tisu                       | o. Kapas lemak      |
| b. Gunting                    | p. Kertas coklat    |
| c. Spatula                    | q. Cawan petri      |
| d. Gelas ukur                 | r. Spektrofometer   |
| e. <i>Breaker glass</i>       | s. <i>Incubator</i> |
| f. Erlenmeyer Tube            |                     |
| g. <i>Digital Mass Device</i> |                     |
| h. <i>Micro Pipet</i>         |                     |
| i. <i>Auto Clave Device</i>   |                     |
| j. Bunsen                     |                     |
| k. Jarus ose                  |                     |
| l. Korek api                  |                     |
| m. <i>Alat Centrifuge</i>     |                     |
| n. Tabung centrifuge          |                     |

#### **ii.Bahan**

- a. *ICAF Prototype*
- b. HSLA Steel Grade AH – 36 (15 cm x 15 cm x 1 cm)
- c. Copper plate (15 cm x 15 cm x 1 cm)
- d. Garam NaCl
- e. *Aquades H<sub>2</sub>O*
- f. NA (*Natrium Agar*)
- g. NB (*Natrium Broth*)
- h. Bakteri *Pseudomonas fluorescens*

#### **3.2.2 Persiapan Material**

Dalam eksperimen ini, material yang dipakai sebagai contoh dari plat kapal adalah baja HSLA AH -36 dengan ukuran tertentu sesuai kebutuhan. Pemotongan baja jenis ini harus dalam perlakuan dingin atau

jika baja ini dalam proses pemotongan terkena panas yang berlebih maka akan mengalami kerusakan.



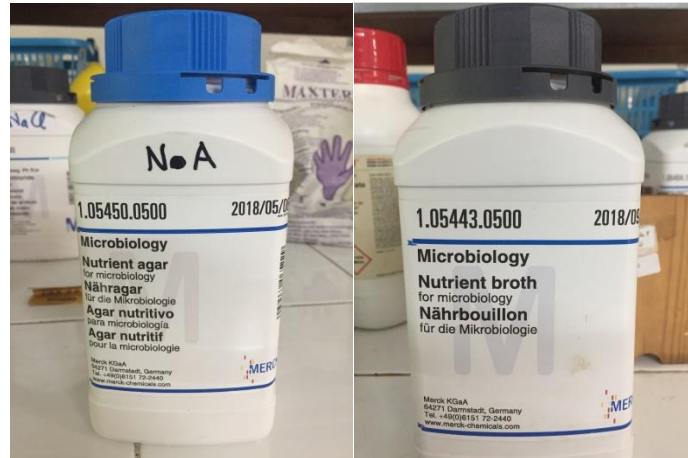
Gambar 3.2 AH – 36 Steel sebagai katoda

### 3.2.3 Persiapan Bakteri

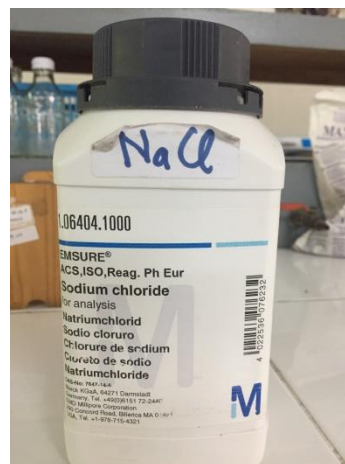
Bakteri yang digunakan dalam studi ini adalah *Pseudomonas fluorescens*. Bakteri ditumbuhkan dengan *Nutrient Agar*. Setelah bakteri aktif, bakteri akan dimasukkan ke larutan dalam tiap wadah uji masing – masing 5%.

#### 3.2.3.1 Step Penumbuhan Ulang Bakteri (*Regrowth isolate bacteria*)

- 1) Tahap awal adalah menyiapkan bakteri induk dari *P. fluorescens*, *NA Powder* dan *NB Powder*. Lalu *NA* dan *NB Powder* ditempatkan pada wadah yang berbeda dan campurkan dengan aquades hingga merata. Setelah itu masukkan *NA* dan *NB* yang sudah menjadi larutan atau media ke dalam *auto clave device* untuk disterilkan agar bebas kontaminan selama 15 menit.



Gambar 3.3 *Nutrient Agar* dan *Nutrient Broth*



Gambar 3.4 *NaCl Powder*

- 2) Ambil media NA dan NB setelah 15 menit dan matikan *auto* clave device. Lalu panaskan jarum ose menggunakan bunsen sampai membara kemudian di angin anginkan 1 – 3 detik
- 3) Buka penutup pada tabung berisi bakteri induk lalu mulut dari tabung dilewatkan pada api sedikit.
- 4) Ambil ose bakteri induk dengan menggores jarum pada bakteri induk secara lurus dan tidak ditekan karena akan merusak agar.
- 5) Setelah usai, dekatkan sesaat mulut tabung pada api lalu ditutup kembali dengan kapas lemak

- 6) Penutup pada media NA dibuka lalu dilewatkan api sesaat. Kemudian jarum ose yang mengandung bakteri digoreskan pada media NA dengan cara memasukan jarumnya sampai ujung tabung lalu keluarkan dengan cara zig – zag. Seusainya media NA dilewatkan pada api lalu ditutup kembali
- 7) Kemudian bakteri pada NA diinkubasi pada incubator selama 24 jam dengan suhu rata – rata 37°
- 8) Setelah 24 jam bakteri siap untuk dimasukkan kedalam media eksperimen tugas akhir



Gambar 3.5 *Incubator*

#### **3.2.3.2 Step Inokulasi Bakteri (Pemindahan bakteri ke reaktor)**

- 1) Ambil sebanyak 5 ose bakteri pada media NA yang telah masuk incubator kedalam media NB pada tabung Erlenmeyer
- 2) Setelah bakteri berada pada media NB, letakkan media tersebut pada *shaker device* dengan kecepatan 150 *rpm* dan waktu kurang lebih 4 jam atau lebih sedikit.
- 3) Setelah di *shake*, di ambil sebanyak 50 ml media NB yang telah diberi bakteri, kemudian pindahkan kedalam tabung *centrifuge*.



- 4) Dilakukan proses *centrifuge* dengan waktu 15 menit kurang lebih dengan kecepatan 4000 *rpm* untuk mengendapkan bakteri ke dasar tabung *centrifuge* agar terpisah dari larutan



Gambar 3.6 Alat *Centrifuge*

- 5) Setiap endapan bakteri pada tabung *centrifuge* dicuci dengan air salin 8,5% (NaCl) steril



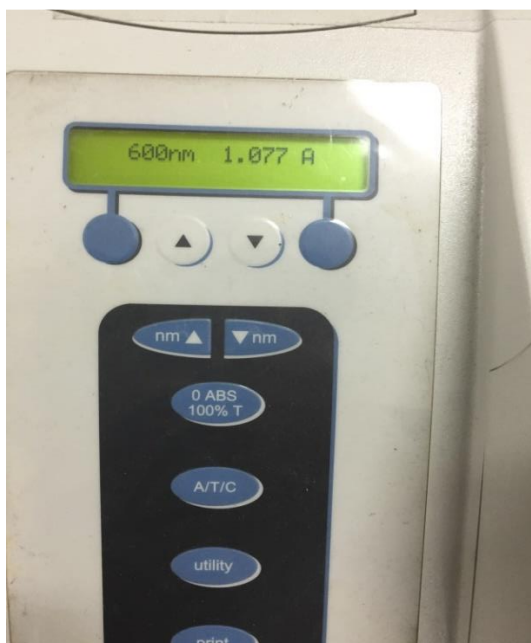
Gambar 3. 7 Bakteri setelah dimasukkan kedalam *Centrifuge*

- 6) Hasil pencucian bakteri ditambahkan air salin 8,5% (NaCl) steril sebanyak 30 ml, kemudian dikocok dengan tangan sehingga tercampur dengan masing – masing endapan bakteri.
- 7) Diukur nilai OD (*Optical Density*) dengan Spektrofotometer yang memiliki panjang gelombang 600 nm.



Gambar 3. 8 Spektrofotometer

- 8) Dilakukan *trial and error* absorbansi sebesar  $\pm 1$  A (Absorban)
- 9) Jika absorbansi sebesar  $\pm 1$  A, maka *trial and error* berhasil dilewati, berarti bakteri siap diuji pada media eksperimen



Gambar 3.9 *Optical Density* pada Spektrofotometer

### 3.2.4 Persiapan Larutan Uji

Larutan uji yang digunakan adalah larutan yang memiliki karakteristik yang sama dengan air laut pada umumnya dengan salinitas 3,5%, karena pada *cooling system* kapal pada umumnya terletak pada lambung kapal yang berada pada kedalaman yang termasuk dangkal.

Dalam penelitian ini penggunaan larutan NaCl sebagai pengganti air laut buatan, rumus dari pembuatan air laut buatan berdasarkan standar ASTM D1 141-9024 adalah sebagai berikut :

$$\text{Volume Larutan} = (0.2 \text{ s.d. } 0.4) \times \text{Luas permukaan} \dots (3.1)$$

Setelah didapatkan volume yang tersedia, dibawah ini adalah tahap – tahap yang dilakukan untuk membuat larutan uji air laut :

- 1) Siapkan NaCl *powder*, Aquades (H<sub>2</sub>O), beserta beberapa peralatan yaitu spatula, gelas ukur breaker glass, labu ukur, *digital mass calculator*, dan gelas Erlenmeyer.
- 2) Timbangan NaCl dengan menaruhnya memakai spatula secara perlahan ke *digital mass calculator*.

- 3) Larutkan NaCl yang sudah ditimbang ke dalam wadah berisi aquades H<sub>2</sub>O, lalu aduk sampai garam benar – benar larut seluruhnya dalam wadah tersebut
- 4) Setelah itu tutup wadah dengan kapas lemak dan kertas coklat agar steril sebelum digunakan



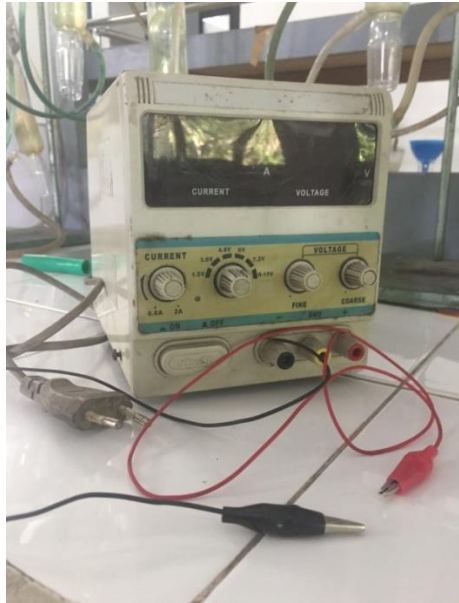
Gambar 3.10 Larutan Salin 3,5 %

### **3.2.5 Persiapan Wadah Uji Sebagai Reaktor**

Reaktor yang digunakan akan disesuaikan dengan ukuran anoda dan katoda agar keduanya cukup untuk dimasukkan kedalam wadah reaktor tersebut.

### **3.2.6 Persiapan Sumber aliran listrik berupa *Power Supply***

Sumber listrik yang digunakan dalam eksperimen ini menggunakan generator sederhana yang dibuat dengan pengatur arus listrik sehingga arus yang dihasilkan dapat bervariasi sesuai dengan kebutuhan pengujian sistem ICAF sederhana.



Gambar 3.11 ICAF sederhana berupa *power supply*

### 3.2.7 Persiapan Anoda

Anoda atau material yang digunakan untuk dapat menghasilkan ion-ion yang diharapkan dapat melindungi katoda sebagai contoh plat pada lambung kapal adalah tembaga. Plat tembaga yang dipakai dalam penelitian ini berukuran 15 cm x 15 cm x 1cm sesuai dengan ukuran baja yang digunakan sebagai katoda.



Gambar 3.12 Plat Tembaga 15 cm x 15 cm x 1 cm

### 3.2.8 Uji ICAF

Pengujian ICAF ini dilakukan dengan tahap – tahap sebagai berikut:

1. Siapkan reaktor (subbab 3.2.3), lalu masukkan larutan uji yang sudah disiapkan dengan deskripsi pada subbab 3.2.2
2. Masukkan bakteri *pseudomonas fluriscens* yang sudah aktif kedalam wadah uji
3. Masukkan Baja HSLA Grade AH-36 dan anoda tembaga kedalam gelas percobaan (bagian baja dan anoda yang tercelup air hanya setengah sampai tiga perempat)
4. Sambungkan rangkaian listrik sederhana yang telah disiapkan dengan kedua material anoda dan baja tersebut.
5. Nyalakan rangkaian tersebut dengan urutan arus yang paling kecil terlebih dahulu dengan waktu tercepat
6. Lakukan step 1 sampai 5 namun dengan variable arus dan waktu yang lainnya yang tertera pada *chart*
7. Setelah itu matikan aliran listrik. Lalu hitung konsentrasi bakteri tersebut dengan CFU



Gambar 3.13 Posisi standby Uji ICAF

### 3.2.9 Proses Penghitungan Bakteri dengan *Pour Plate Count*

Setelah semua variasi pengujian sistem ICAF menggunakan rangkaian listrik sederhana dilakukan, langkah setelahnya adalah proses penghitungan bakteri dengan metode cawan tuang atau (*Pour Plate Count*) berfungsi untuk menghitung konsentrasi bakteri yang masih aktif dalam larutan uji setelah eksperimen dilakukan dengan *colony counter* sebagai alat penghitung titik bakteri pada cawan. *Pour Plate Count* memiliki prosedur pelaksanaan seperti berikut :

1. Disiapkan sampel hasil dari eksperimen pada variasi waktu dan arus tertentu sebanyak kurang lebih 50 ml
2. Disiapkan 4 cawan petri, *micro pipet*, media NA, bunsen, dan air steril pada 6 tabung reaksi yang berbeda, jika duplo maka siapkan 8 cawan



Gambar 3.14 *Micro Pipet*

3. Lalu Masukkan sampel sebanyak 1 ml kedalam tabung reaksi dari pangkat terbesar, serta kocok hingga sampel tersebar merata. Kemudian masukkan 1 ml dari tabung reaksi tersebut ke tabung reaksi selanjutnya berpangkat pengenceran lebih kecil.(Setiap sebelum memasukkan pipet ke suatu tabung,pastikan dekati api terlebih dahulu tabung yang akan dimasukkan pipet agar steril)



Gambar 3.15 Peralatan – peralatan dan bahan – bahan *pada proses CFU*



Gambar 3.16 Sampel hasil Uji ICAF

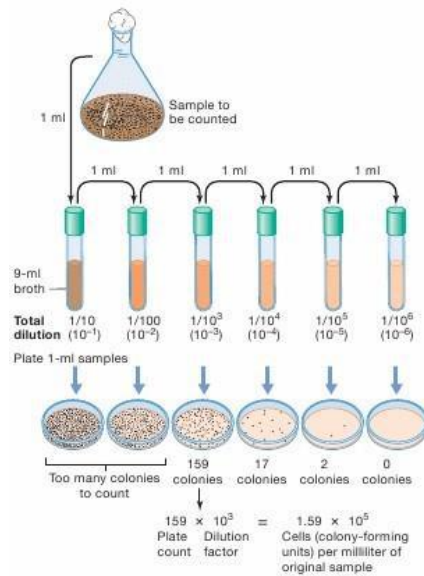




Gambar 3.17 Media NA yang beku sedang direbus agar mencair

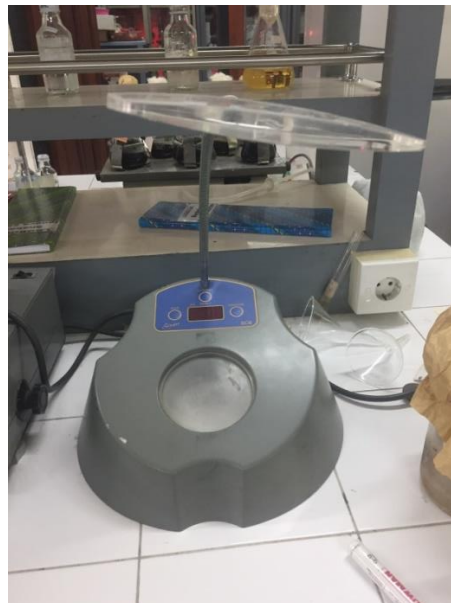
4. Jika sudah sampai ke tabung terakhir, masukkan masing - masing 0,1 ml dari tabung reaksi berpangkat  $10^{-3}$  kedalam 2 cawan petri agar mendapatkan 2 pengenceran  $10^{-4}$ . Lakukan hal yang sama terhadap tabung reaksi berpangkat  $10^{-4}$  dan  $10^{-5}$  (dengan tujuan mendapatkan masing - masing 2 hasil pengenceran  $10^{-4}$  sampai  $10^{-6}$ . Sebaiknya waktu antara dimulainya pengenceran sampai menuangkan ke dalam cawan petri tidak boleh lebih dari 30 menit
5. Kemudian, masukkan media NA ke dalam masing – masing cawan petri secara perlahan. Selama penuangan medium, tutup cawan tidak boleh dibuka terlalu lebar untuk menghindari terjadi kontaminasi dari luar. Setelah penuangan cawan petri segera digerakkan secara hati-hati agar sel-sel mikroba menyebar secara merata. Hal ini dilakukan dengan gerakan melingkar atau gerakan seperti angka delapan, setelah agar memadat, cawan-cawan tersebut dapat diinkubasikan di dalam inkubator dengan posisi terbalik
6. Setelah padat, balikkan cawan petri tersebut agar larutan yang telah memadat tersebut menggantung, kemudian bungkus dengan kertas coklat dan dimasukkan kedalam incubator selama 24 jam untuk dilihat besoknya dengan *colony counter*

7. Sesudah 24 jam yaitu saatnya untuk melihat pertumbuhan bakteri dengan dihitung *CFU* atau jumlah koloni nya dengan *colony counter*. Cawan petri yang ingin dihitung banyak titik bakterinya diletakkan diatas wadah pada alat *colony counter*,kemudian dihitung dengan cara menekan secara perlahan cawan petri tersebut memakai *ballpen* yang jelas agar bisa menandai mana saja titik yang sudah ditanda dan yang belum.Setelah semua titik ditandai, *colony counter* akan menunjukkan berapa jumlah titik yang sudah ditanda.(Titik agar lebih akurat dihitung harus berjumlah antara 25 – 250 titik sesuai *Standard Plate Count (SPC)*).Lakukan step ini pada tiap cawan yang sudah dihitung titiknya (Dalam tiap tahap pengenceran sampel hasil variabel jika ketiga pengenceran dapat dihitung, pilih pengenceran yang paling besar)
8. Setelah itu bakteri dihitung dengan cara *Pour Plate Count*.Jumlah koloni pada tiap variabel yang sudah dihitung, diinput kedalam rumus pada persamaan (2.1). Lalu didapatkan perkiraan jumlah organisme yang memiliki satuan *CFU/ml* atau *CFU/gr*.



Gambar 3.18 Skema Pelaksanaan Pour Plate Count

(<http://duniachemistry.blogspot.co.id/2015/11/total-plate-count-tpc.html> , diakses pada 5 Januari 2017)



Gambar 3.19 Colony Counter

### **3.2.10 Ekspektasi Hasil**

Dari eksperimen diatas, diharapkan akan mendapat hasil berapa lama atau waktu yang dibutuhkan untuk membunuh bakteri *pseudomonas fluorscens* yang memiliki resistensi tinggi terhadap logam berat dan hasil berupa seberapa besar arus yang paling efektif dan efisien untuk membunuh bakteri tersebut.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Impressed Current Anti Fouling (ICAF) Sederhana**

Sistem ICAF sederhana ini memiliki isi dan sifat yang serupa dengan *power supply* namun dengan skala kecil. *Power supply* adalah alat atau sistem yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik atau bentuk energi jenis apapun yang sering digunakan untuk menyalurkan energi listrik. Secara prinsip rangkaian *power supply* adalah menurunkan tegangan AC, menyearahkan tegangan AC sehingga menjadi DC, menstabilkan tegangan DC, yang terdiri atas *transformator*, *dioda* dan *kapasitor/condensator* (Putu Nopa Gunawan. 2011). Berikut adalah komponen - komponen utama dari generator listrik sederhana atau ICAF ini :

1. Steker
2. Saklar
3. *Fuse* / Sekering
4. *Transformator* / Trafo
5. *Dioda Bridge* / Kiprok
6. *Capacitor*
7. *Transistor*
8. *IC 7805* / Regulator Tegangan
9. *Digital Controller*
10. *Trimpot* / *Potensiometer*

##### **4.1.1 Steker**

Steker adalah pencocok yang dipasang pada ujung kabel listrik yang ditusukkan pada lubang aliran listrik untuk menyalakan alat elektronik. Steker digunakan sebagai saluran untuk sumber daya listrik. Steker adalah dua buah colokan berbahan logam yang dipasang pada ujung kabel listrik yang berfungsi untuk menghubungkan peralatan listrik dengan aliran listrik.

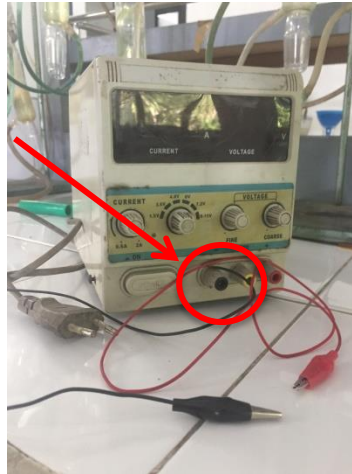


Gambar 4. 1 Steker dari ICAF sederhana

#### 4.1.2 Sakelar

Sakelar adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan aliran listrik. Jadi saklar pada dasarnya adalah suatu alat yang dapat atau berfungsi menghubungkan atau pemutus aliran listrik (arus listrik) baik itu pada jaringan arus listrik kuat maupun pada jaringan arus listrik lemah. Secara sederhana, saklar terdiri dari dua bilah logam yang menempel pada suatu rangkaian, dan bisa terhubung atau terpisah sesuai dengan keadaan sambung (*on*) atau putus (*off*) dalam rangkaian itu. Material kontak sambungan umumnya dipilih agar supaya tahan terhadap korosi.

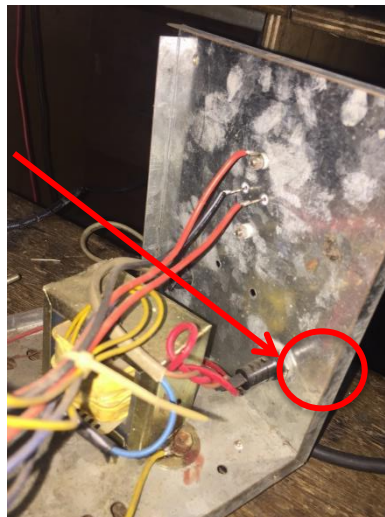
Sakelar yang digunakan dalam rangkaian ini adalah Sakelar *push button*. Saklar *push button* adalah tipe sakelar yang menghubungkan aliran listrik sesaat saja saat ditekan dan setelah dilepas maka kembali lagi pada posisi off. Sakelar tipe ini banyak digunakan pada rangkaian elektronika yang di kombinasikan dengan rangkaian pengunci.



Gambar 4.2 Sakelar dari ICAF sederhana berupa Sakelar *Push Button*

#### 4.1.3 Fuse / Sekering

Sekering atau *fuse* adalah alat yang dapat memutuskan arus listrik pada saat terjadi hubung singkat (*short*) atau arus berlebih (*over current*) pada rangkaian listrik atau beban lainnya, seperti pada kendaraan, instalasi dirumah, rangkaian elektronik dll. Ada banyak jenis sekering/*fuse* namun yang umum dipakai di kalangan masyarakat adalah jenis sekering *glass*, terbuat dari kaca atau *glass*, di dalamnya ada selembur kawat khusus, besarnya penampang kawat menentukan besarnya kapasitas sekering atau kemampuan sekering mengalirkan arus listrik.



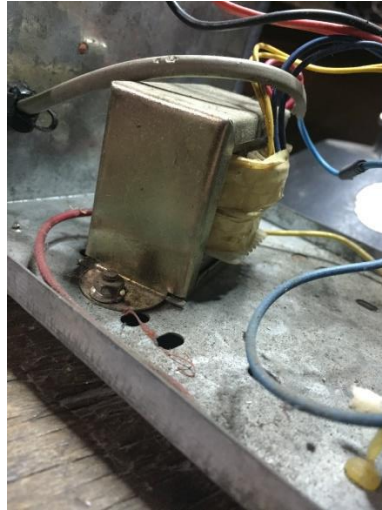
Gambar 4.3 Letak fuse atau sekering pada ICAF sederhana

#### 4.1.4 *Transformer / Trafo*

Transformator adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik. Trafo berperan dalam menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan yang rendah atau sebaliknya, namun dengan frekuensi yang sama. Oleh karena itu pula transformator merupakan piranti listrik yang termasuk ke dalam golongan mesin listrik statis. Transformator berbentuk empat persegi panjang dimana di dalamnya terdapat susunan pelat baja berbentuk huruf E. Transformator terbuat dari bahan kawat tembaga (*email*) berukuran kecil yang melilit pelat tersebut yang membentuk lilitan primer dan lilitan sekunder. *Transformator* bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi elektromagnetik. Dimana apabila terjadi suatu perubahan fluks magnet pada kumparan primer, maka akan diteruskan ke kumparan sekunder dan menghasilkan suatu gaya gerak listrik induksi dan arus induksi. Agar selalu terjadi perubahan fluks magnet, maka arus yang masuk (*input*) ini harus berupa arus bolak balik (*AC*).

Trafo yang digunakan dalam rangkaian ini adalah Trafo *step – down*. *Transformer step - down* mengubah tegangan listrik dari satu tingkat atau konfigurasi fasenya biasanya turun ke tingkat yang lebih rendah. Aplikasi untuk isolasi listrik, distribusi tenaga listrik, dan kontrol dan instrumentasi aplikasi. Transformator (Trafo) Step Down biasanya bergantung pada prinsip induksi magnetik antara kumparan untuk mengkonversi tegangan dan / atau level arus. *Transformator (Trafo) Step - Down* dibuat dari dua atau lebih kumparan kawat terisolasi di sekitar inti besi. Ketika tegangan masuk dan diberikan ke satu kumparan (sering disebut primer atau input) memagnetizes inti besi, yang menginduksi tegangan dalam kumparan lain (yaitu sekunder atau output). Rasio dari dua set gulungan menentukan jumlah transformasi tegangan.



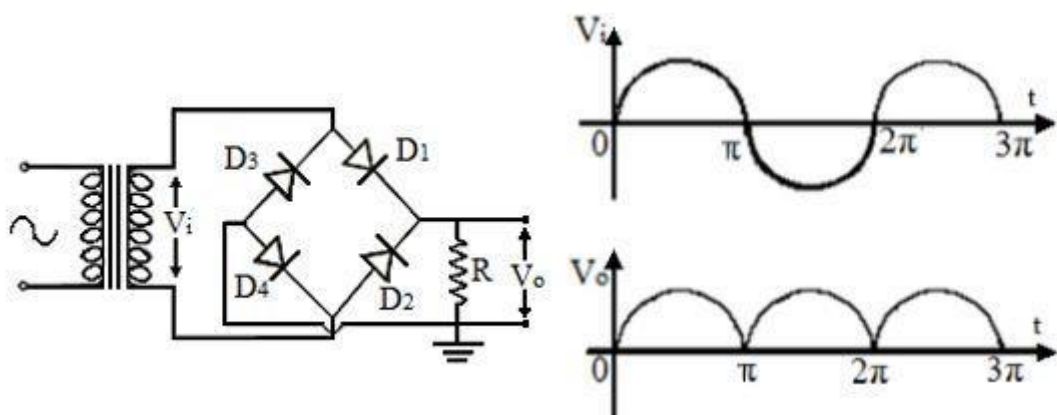


Gambar 4.4 Transformator step – down pada *ICAF* sederhana

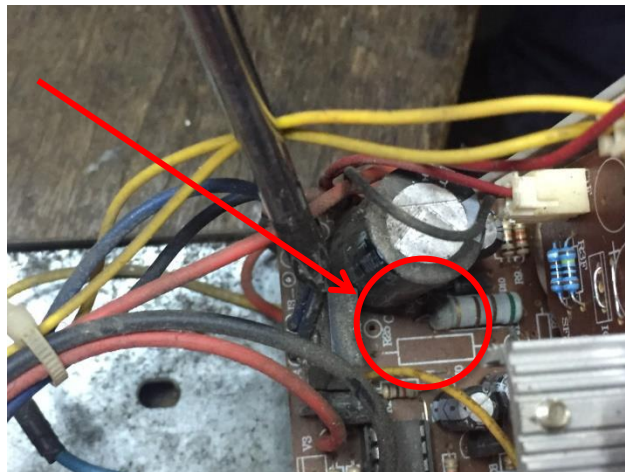
#### **4.1.5 Dioda Bridge / Rectifier**

*Rectifier* adalah penyearah aliran listrik dari aliran listrik bolak - balik (AC) menjadi aliran listrik searah (DC). Komponen utama dari rectifier adalah dioda. Dioda adalah “suatu komponen elektronik yang dapat membuat arus pada satu arah saja” (Sutrisno, 1986: 81). *Rectifier* memiliki dua jenis, yaitu *rectifier* setengah gelombang atau mengubah aliran AC menjadi DC namun hanya kutub positif sebagai *outputnya* dan *rectifier* gelombang penuh atau dapat mengubah aliran AC menjadi DC dengan *output* kutub positif dan negatif.

Rangkaian listrik ICAF sederhana pada penelitian ini menggunakan 4 dioda pada *rectifier* yang berarti memiliki *rectifier* gelombang penuh. Pada Gambar 4.5 dapat diketahui prinsip kerja dari *rectifier* gelombang penuh dengan empat dioda menurut Sutrisno (1986: 94) dimulai pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1 , D4 pada posisi menghantarkan dan pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2 , D3 pada posisi menghantarkan.



Gambar 4.5 Skema *rectifier* gelombang penuh dengan 4 dioda (Sutrisno, 1986: 94)



Gambar 4.6 Letak diode pada ICAF sederhana



Gambar 4.7 Contoh gambar jelas diode ([benselectronic.nl](http://benselectronic.nl))

#### 4.1.6 *Electrolit Condensator (Elco) / Capacitor*

Kondensator atau sering disebut sebagai kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kondensator memiliki satuan yang disebut Farad dari nama Michael Faraday. Kondensator juga dikenal sebagai "kapasitor", namun kata "kondensator" masih dipakai hingga saat ini.

*Elco (electrolit condensator)* adalah jenis kapasitor yang memiliki dua kutub pada kaki-kakinya. Kapasitor ini juga biasa disebut dengan kapasitor polar. Setiap *elco* memiliki tegangan yang berbeda-beda. Jika tegangan yang mengalir ke elco melebihi batas, maka kemungkinan elco tersebut akan rusak dan bahkan meledak

Kapasitor yang digunakan pada rangkaian listrik ICAF dari penelitian ini adalah *Elco* yang berfungsi sebagai penghemat atau penyimpan energi listrik untuk penggunaan sistem tersebut. Kapasitor juga berfungsi sebagai filter pada sebuah rangkaian power supply atau sebagai ripple filter, disini sifat dasar kapasitor yaitu dapat menyimpan muatan listrik yang berfungsi untuk memotong tegangan ripple.



Gambar 4. 8 Elco atau kapasitor pada ICAF sederhana penelitian

#### 4.1.7 Transistor

*Transistor* dapat diartikan sebagai suatu pemindahan atau peralihan bahan setengah penghantar menjadi penghantar pada suhu atau keadaan tertentu. Transistor berfungsi sebagai penguat (*amplifier*), pemutus atau penyambung aliran atau sirkuit (*switching*), stabilisasi tegangan (*stabilisator*), penahan sekaligus penguat arus, menaikkan atau menurunkan arus, modulasi sinyal dan lain – lain.

Jenis *transistor* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *transistor bipolar*, yaitu merupakan pengatur arus listrik (regulator arus listrik), dengan kata lain transistor dapat membatasi arus yang mengalir dari Kolektor ke Emiter atau sebaliknya.



Gambar 4. 9 Transistor yang dipasang pada rangkaian ICAF sederhana

#### 4.1.8 IC 7805 / Voltage Regulator

*Voltage Regulator* atau regulator tegangan listrik pada suatu rangkaian listrik digunakan untuk mengatur tegangan atau membatasi, sehingga output arus yang keluar dapat diatur dan lebih konstan.

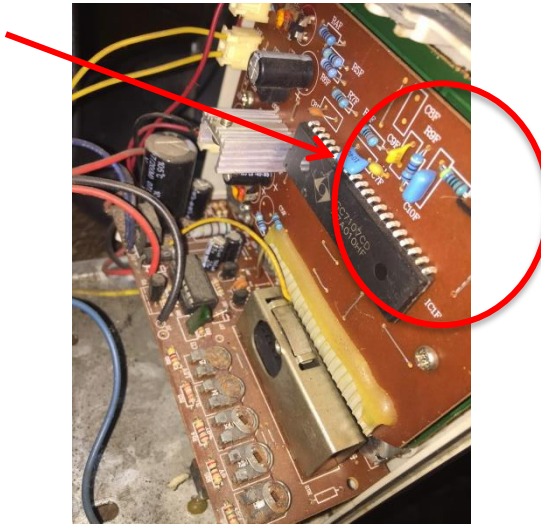
*Voltage Regulator* yang dipakai pada rangkaian listrik sederhana ICAF ini adalah tipe IC 7805, yaitu dapat mengatur voltase input yang tidak diinginkan menjadi output yang diinginkan yakni 5 V.



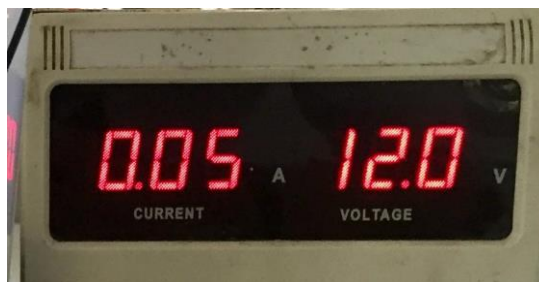
Gambar 4. 10 Letak IC 7805 pada rangkaian ICAF sederhana

#### 4.1.9 Digital Controller

Seperti namanya, *digital controller* adalah suatu rangkaian kecil didalam sistem ICAF sederhana ini yang berfungsi untuk mengatur output berupa layar digital untuk menunjukkan informasi kepada pemakai mengenai besar arus dan voltase yang akan dipakai.



Gambar 4.11 Letak rangkaian *digital* controllers pada *ICAF* sederhana



Gambar 4.12 Display dari Digital controller pada *ICAF* sederhana penelitian

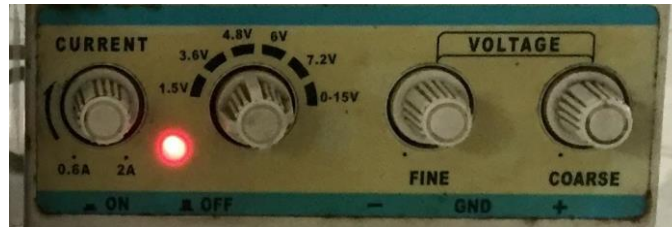
#### 4.1.10 *Potensiometer dan Tripotensiometer (Trimpot)*

Resistor adalah komponen dasar elektronika yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam suatu rangkaian. Kemampuan resistor dalam menghambat arus listrik sangat beragam disesuaikan dengan nilai resistansi resistor tersebut. Resistor bersifat resistif dan umumnya terbuat dari bahan karbon. Satuan resistansi dari suatu resistor disebut Ohm atau dilambangkan dengan simbol  $\Omega$  (Omega). Potensiometer dan *trimpot* merupakan jenis dari resistor. Perbedaannya adalah potensiometer memiliki *toggle* khusus yang pas dengan tangan manusia agar bisa menggunakannya, sedangkan *trimpot* membutuhkan obeng untuk mengaturnya.

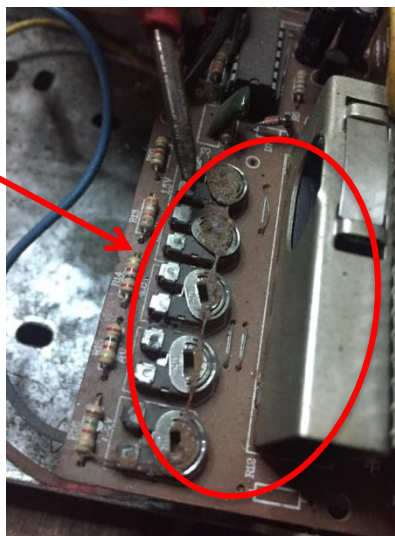
*Potensiometer* yang digunakan dalam rangkaian listrik *ICAF* ini adalah *potensiometer rotary* yaitu dapat diatur dengan cara diputar oleh pemakai. Sedangkan *trimpot* pada rangkaian ini berfungsi untuk membatasi



arus dan voltase terendah hingga terbesar pada *potensiometer*, agar variasi arus dan voltase untuk penelitian dapat dikeluarkan dengan baik.



Gambar 4. 13 Display *potensiometer* arus dan voltase ICAF sederhana



Gambar 4. 14 Letak *Trimpot* pada ICAF sederhana penelitian

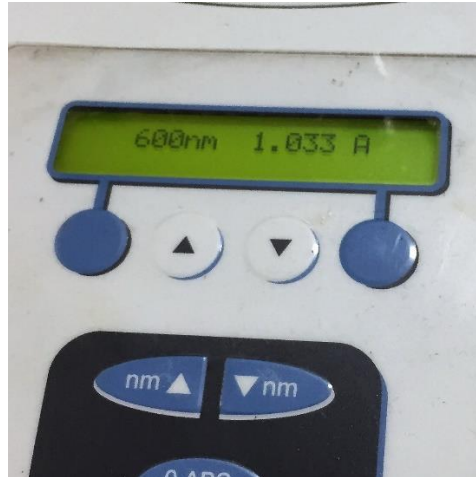
## 4.2 Hasil Eksperimen

Setelah dilakukan semua proses eksperimen ICAF sederhana yang sesuai dengan urutan variasi besar arus listrik dan waktu seperti pada metodologi di BAB 3. Hasil yang ditampilkan adalah berupa 2 sampel bakteri per variasi eksperimen (total 9 variasi) yang sudah dikalkulasi sesuai dengan metode *Pour Plate Count* dalam sesuai dengan standar *SPC (Standard Plate Count)*. Berikut adalah hasil – hasil eksperimen ICAF sederhana terhadap bakteri *Pseudomonas fluorescens* sesuai dengan urutan pada metodologi :

### 4.2.1 Hasil Uji ICAF Sederhana dalam Durasi 3 Menit

Perkiraan jumlah bakteri pada eksperimen variasi waktu pertama adalah sekitar 1 milyar (1.033 A) sesuai dengan gambar 4.14 yang

didapatkan dari alat *spectrophotometer* dengan cahaya ber -  $\lambda$  600 nm. Variasi arus listrik yang digunakan adalah sama dengan durasi waktu lainnya yaitu arus rendah (0.1 A), sedang (0.3 A) dan tinggi (0.5 A).



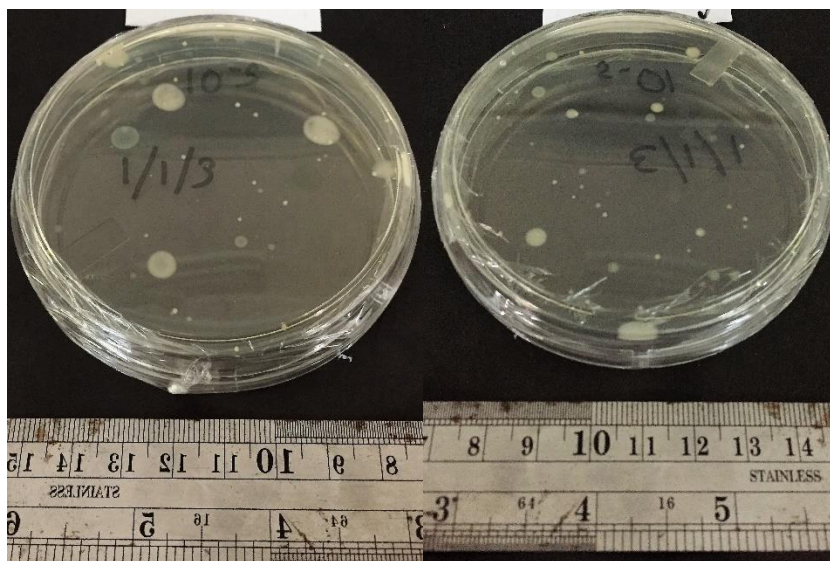
Gambar 4. 15 Foto jumlah *Optic Density* pada Eksperimen ICAF

berdurasi 3 menit

#### **4.2.1.1 Hasil Eksperimen Durasi 3 Menit dan Arus Listrik 0.1 Ampere**

Dari pengenceran variasi arus listrik rendah (0.1 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-5}$ , pengenceran  $10^{-5}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-5}$  menunjukkan 180 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 130 titik. (Dua sampel dibawah ini merupakan contoh sampel yang cukup sulit diteliti, karena memiliki titik atau koloni dengan ukuran sangat kecil (bila dilihat dengan jarak mata ke cawan sekitar 5 cm dan dengan pencahayaan yang bagus titik tersebut dapat terlihat. Titik/koloni kecil banyak terletak pada bagian samping cawan).

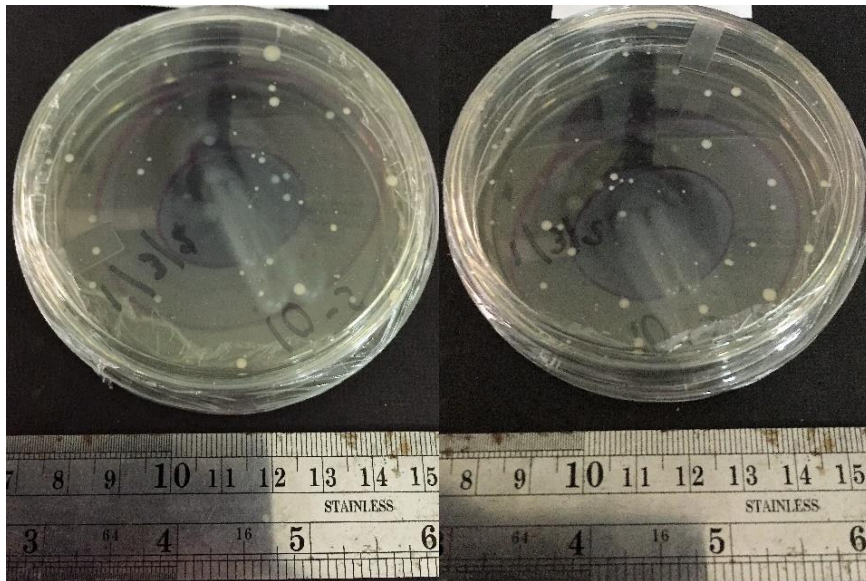




Gambar 4. 16 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 3 menit dengan arus listrik 0.1 A.

#### 4.2.1.2 Hasil Eksperimen Durasi 3 Menit dan Arus Listrik 0.3 Ampere

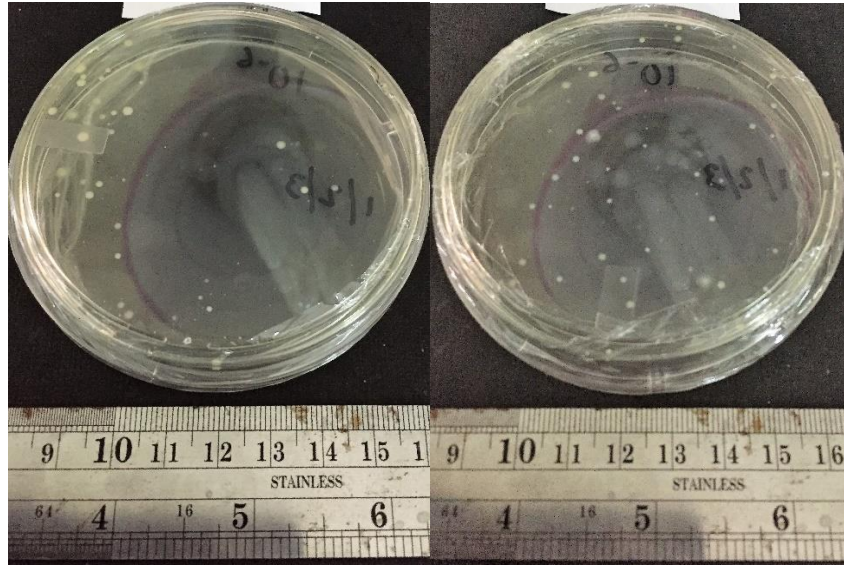
Dari pengenceran variasi arus listrik sedang (0.3 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-5}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-5}$  menunjukkan 48 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 44 titik.



Gambar 4.17 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 3 menit dengan arus listrik 0.3 A.

#### 4.2.1.3 Hasil Eksperimen Durasi 3 Menit dan Arus Listrik 0.5 Ampere

Dari pengenceran variasi arus listrik tinggi (0.5 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-5}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-5}$  menunjukkan 48 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 44 titik.



Gambar 4.18 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 3 menit dengan arus listrik 0.5 A.

#### 4.2.2 Hasil Uji ICAF Sederhana dalam Durasi 5 Menit

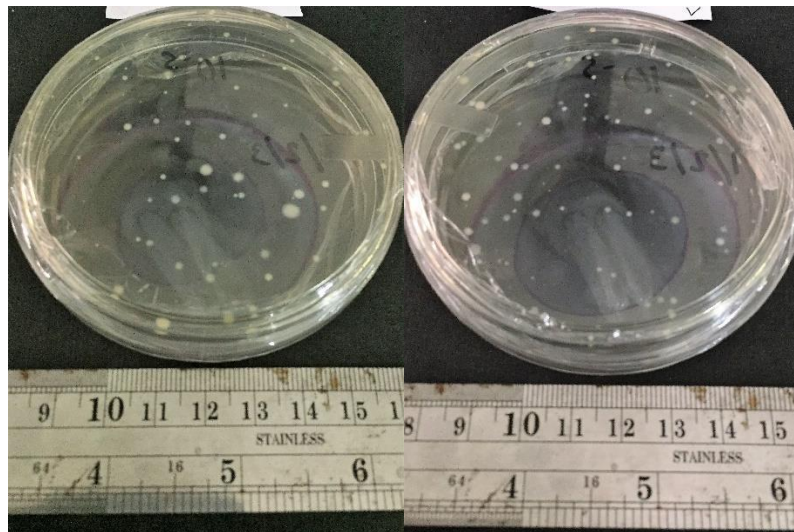
Perkiraan jumlah bakteri pada eksperimen variasi waktu kedua adalah sekitar 1 milyar (1.035 A) sesuai dengan gambar 4.14 yang didapatkan dari alat *spectrophotometer* dengan cahaya ber-  $\lambda$  600 nm. Variasi arus listrik yang digunakan adalah sama dengan durasi waktu lainnya yaitu arus rendah (0.1 A), sedang (0.3 A) dan tinggi (0.5 A).



Gambar 4.19 Foto jumlah *Optic Density* pada Eksperimen ICAF berdurasi 5 menit

#### 4.2.2.1 Hasil Eksperimen Durasi 5 Menit dan Arus Listrik 0.1 Ampere

Dari pengenceran variasi arus listrik rendah (0.1 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-4}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-4}$  menunjukkan 94 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 118 titik.

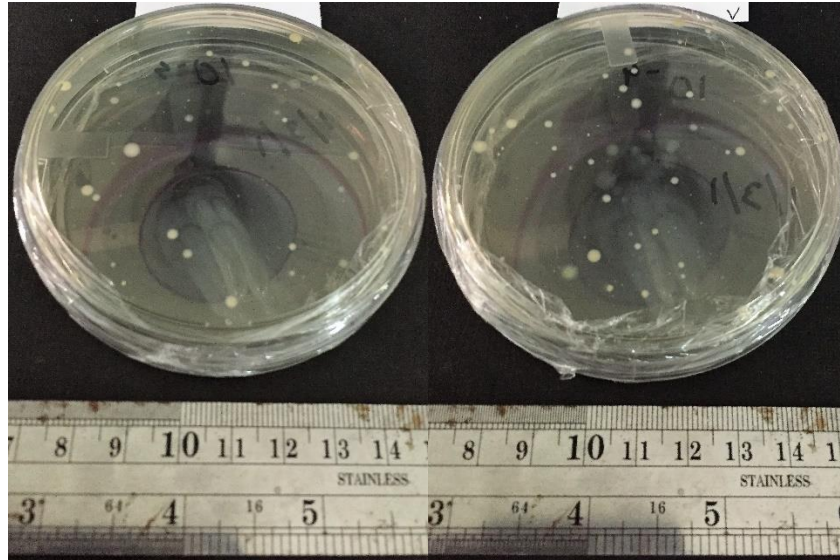


Gambar 4. 20 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 5 menit dengan arus listrik 0.1 A.

#### 4.2.2.2 Hasil Eksperimen Durasi 5 Menit dan Arus Listrik 0.3 Ampere

Dari pengenceran variasi arus listrik sedang (0.3 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-4}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-4}$  menunjukkan 64 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 87 titik.

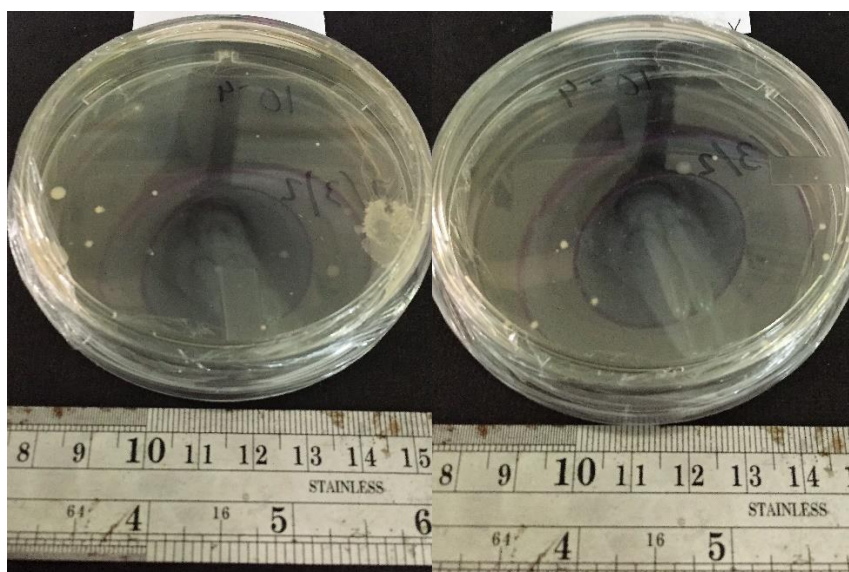




Gambar 4.21 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 5 menit dengan arus listrik 0.3 A

#### 4.2.2.3 Hasil Eksperimen Durasi 5 Menit dan Arus Listrik 0.5 Ampere

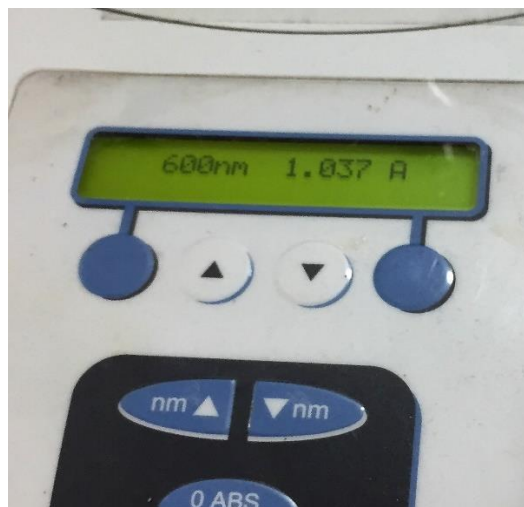
Dari pengenceran variasi arus listrik tinggi (0.5 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-4}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-4}$  menunjukkan 31 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 27 titik.



Gambar 4.22 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 5 menit dengan arus listrik 0.5 A.

#### 4.2.3 Hasil Uji ICAF Sederhana dalam Durasi 7 Menit

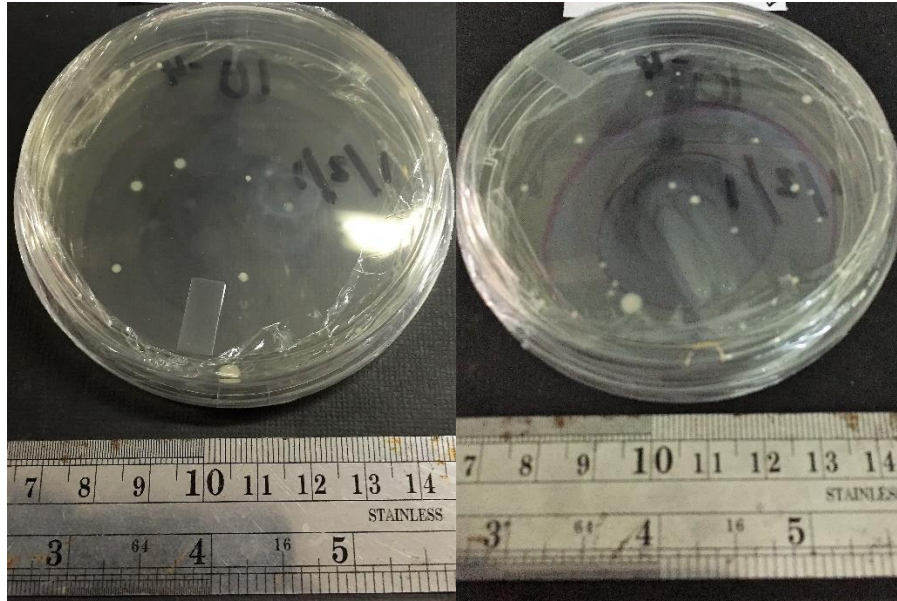
Perkiraan jumlah bakteri pada eksperimen variasi waktu ketiga adalah sekitar 1 milyar (1.037 A) sesuai dengan gambar 4.14 yang didapatkan dari alat *spectrophotometer* dengan cahaya ber-  $\lambda$  600 nm. Variasi arus listrik yang digunakan adalah sama dengan durasi waktu lainnya yaitu arus rendah (0.1 A), sedang (0.3 A) dan tinggi (0.5 A).



Gambar 4.23 Foto jumlah *Optic Density* pada Eksperimen ICAF berdurasi 7 menit

##### 4.2.3.1 Hasil Eksperimen Durasi 7 Menit dan Arus Listrik 0.1 Ampere

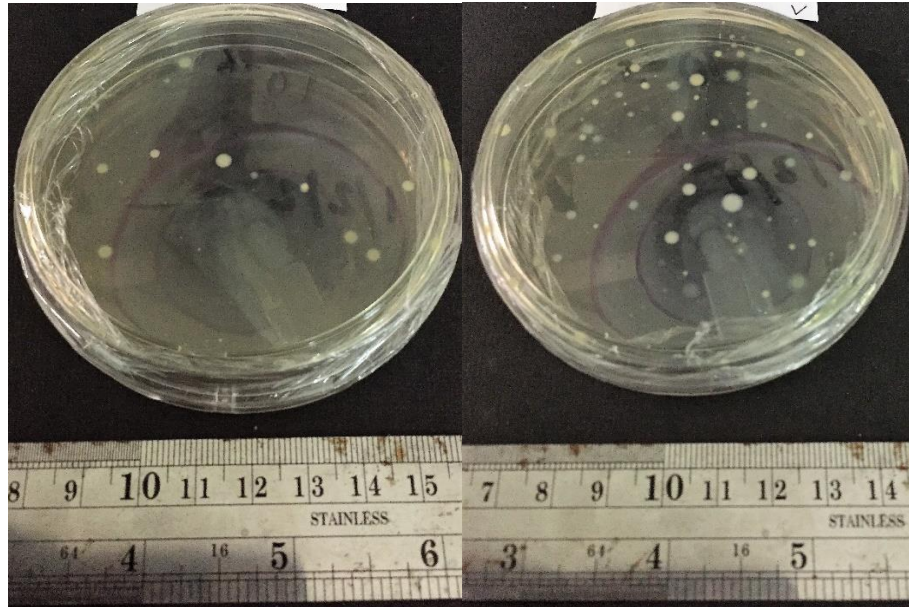
Dari pengenceran variasi arus listrik rendah (0.1 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-4}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-4}$  menunjukkan 75 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 60 titik.



Gambar 4.24 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 7 menit dengan arus listrik 0.1 A.

#### 4.2.3.2 Hasil Eksperimen Durasi 7 Menit dan Arus Listrik 0.3 Ampere

Dari pengenceran variasi arus listrik sedang (0.3 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-4}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-4}$  menunjukkan 28 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 26 titik.

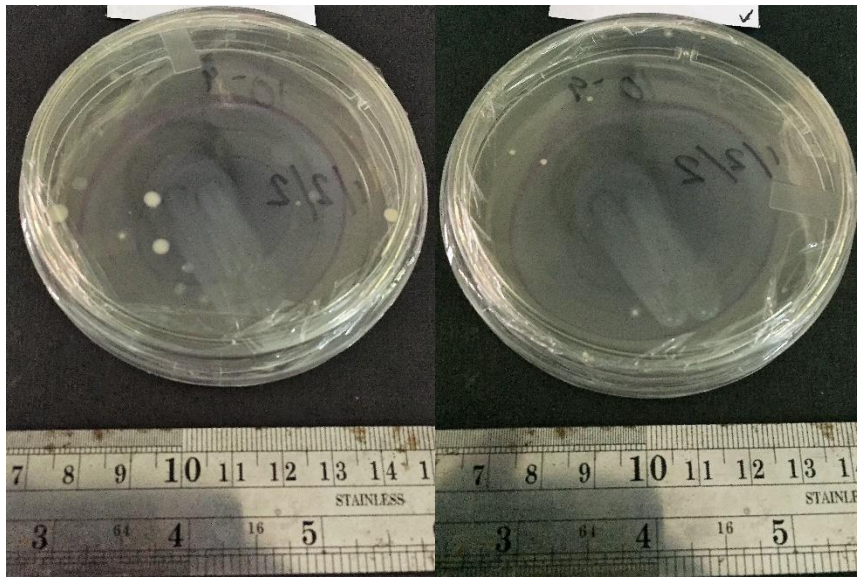


Gambar 4.25 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 7 menit dengan arus listrik 0.3 A.

#### 4.2.3.3 Hasil Eksperimen Durasi 7 Menit dan Arus Listrik 0.5 Ampere

Dari pengenceran variasi arus listrik tinggi (0.5 A) pangkat  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ , pengenceran  $10^{-4}$  adalah yang paling mungkin untuk dihitung titiknya karena *range* titik pada cawan petri harus dibawah 250. Sampel 1 pada pengenceran  $10^{-4}$  menunjukkan 27 titik, sedangkan sampel 2 sebanyak 24 titik.





Gambar 4.26 Dua Sampel hasil Uji ICAF sederhana berdurasi 7 menit dengan arus listrik 0.5 A.

### 4.3 Analisis Hasil Eksperimen

Hasil eksperimen tugas akhir ini akan dianalisis dengan memakai rumus *Standard Plate Count (SPC)* sebagai rumus penghitungan perkiraan jumlah bakteri dalam pengenceran yang dapat terbaca dan dihitung jumlah titiknya pada alat *Colony Counter* per variasi arus listrik (A) dan waktu dengan satuan CFU/ml.

Setelah mendapatkan semua output dari kalkulasi rumus *SPC* terhadap hasil pengenceran bakteri tiap variabel, dilakukan analisa seberapa besar penurunan jumlah bakteri dalam tiap variabel dengan menampilkan persentase masing – masing. Tujuan dari analisis ini adalah agar dapat mengetahui besar arus dan waktu pada ICAF yang paling efektif maupun efisien dalam membunuh bakteri *Pseudomonas fluorescens* sebagai contoh bakteri di lingkungan laut kedalaman dangkal (*pelagic*) yang tentunya sebagai letak dimana lambung kapal berada.

### 4.3 Tabel dan Grafik Rata – Rata Jumlah Bakteri Hasil Eksperimen

Semua hasil kalkulasi rumus *SPC* akan diinput kedalam tabel agar dapat dicari rata – rata dalam tiap kombinasi variabel arus listrik dan waktu. Setelah itu semua jumlah rata – rata bakteri tiap kombinasi variabel dibandingkan kedalam grafik guna mendapatkan variabel mana yang paling besar efektivitasnya serta pada segi efisiensinya terhadap arus listrik dan waktu yang digunakan sebagai input dalam eksperimen tugas akhir ini.

Berikut ini adalah beberapa tabel dan grafik rata – rata perkiraan jumlah bakteri dengan rumus *Standard Plate Count (SPC)* :

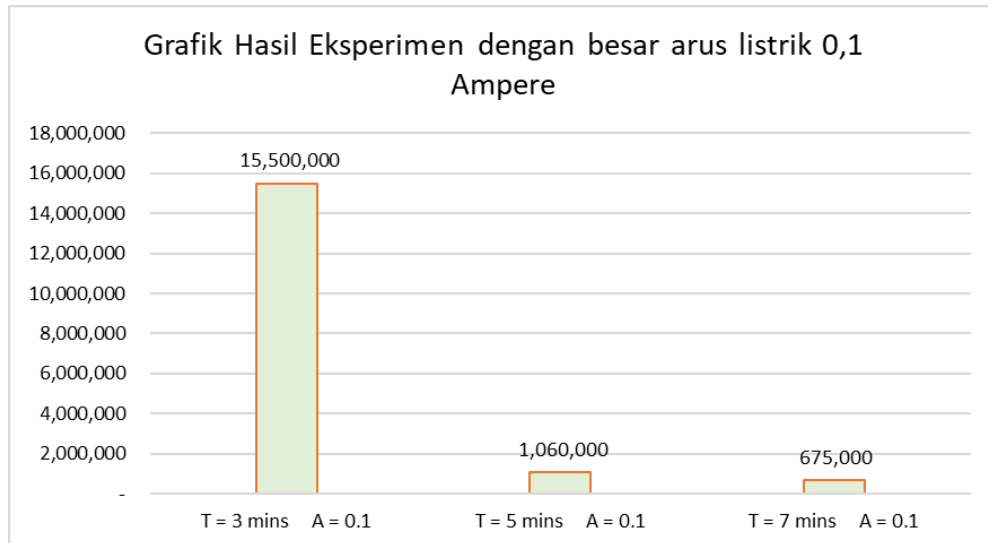
#### 4.3.1 Tabel dan Grafik Rata – Rata Jumlah Bakteri berdasarkan besar arus listrik (Ampere)

Dibawah ini merupakan beberapa tabel dan grafik hasil kalkulasi rumus penghitungan bakteri dengan metode *Pour Plate Count* ber-standar *Standard Plate Count (SPC)*. Tabel dan grafik dikelompokkan sesuai dengan besar arus listrik (Ampere) yang sama

##### 4.3.1.1 Tabel dan Grafik dengan Arus Listrik 0,1 Ampere

Tabel 4.1 Hasil Eksperimen dengan arus listrik 0,1 Ampere

Sample No	Tabel Hasil Eksperimen Arus Listrik = 0,1 A		
	T = 3 mins	T = 5 mins	T = 7 mins
1	18,000,000	940,000	750,000
2	13,000,000	1,180,000	600,000
Mean	15,500,000	1,060,000	675,000



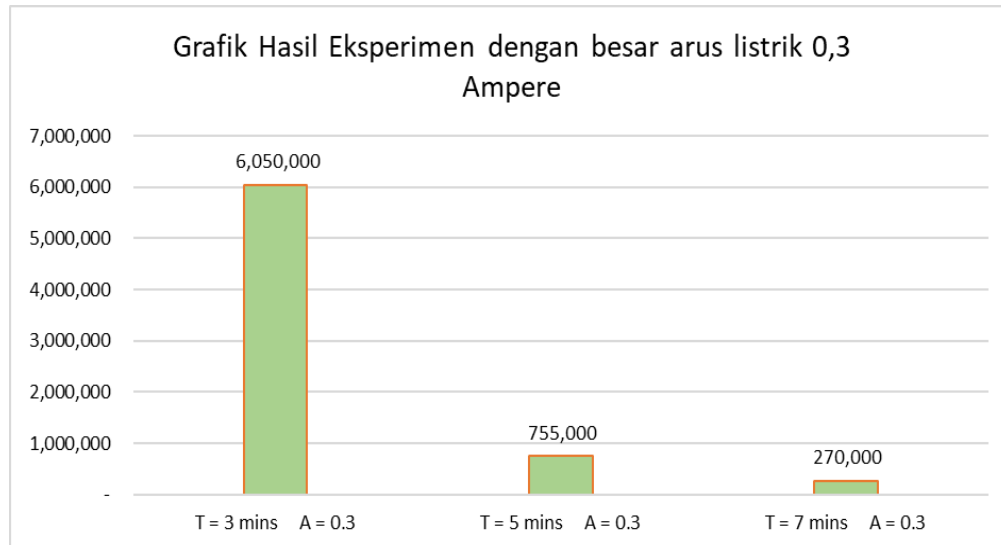
Grafik 4.1 Hasil Eksperimen dengan besar arus listrik 0,1 Ampere

Grafik 4.1 menunjukkan perkiraan hasil jumlah bakteri hasil eksperimen yang menggunakan rumus sesuai standar *SPC*. Grafik mendeskripsikan bahwa semakin besar waktu yang dihabiskan, maka semakin banyak pula bakteri yang mati akibat efek dari sistem *ICAF* sederhana. Sisa bakteri terbanyak diperoleh oleh eksperimen dengan waktu 3 menit dengan jumlah 15.500.000 CFU/ml bakteri, sedangkan sisa bakteri paling sedikit didapatkan pada variasi menit ke 7 dengan jumlah 270.000 CFU/ml bakteri.

#### 4.3.1.2 Tabel dan Grafik dengan Arus Listrik 0,3 Ampere

Tabel 4.2 Hasil eksperimen dengan arus listrik 0,3 Ampere

Sample No	Tabel Hasil Eksperimen Arus Listrik = 0,3 A		
	T = 3 mins	T = 5 mins	T = 7 mins
1	7,800,000	640,000	280,000
2	4,300,000	870,000	260,000
Mean	6,050,000	755,000	270,000



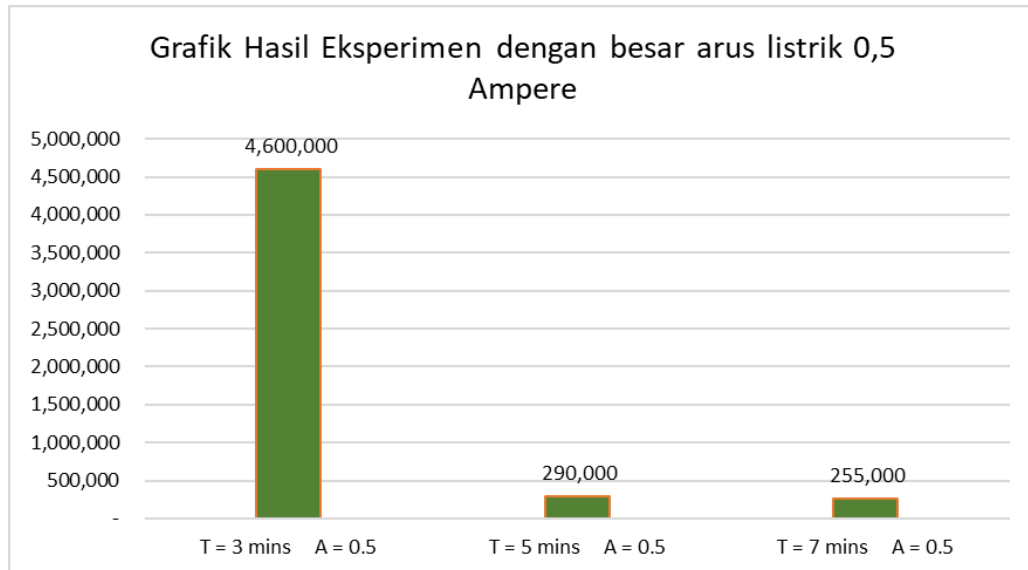
**Grafik 4.2 Hasil eksperimen dengan besar arus listrik 0,3 Ampere**

Grafik 4.2 menunjukkan perkiraan hasil jumlah bakteri hasil eksperimen yang menggunakan rumus sesuai standar *SPC*. Grafik mendeskripsikan bahwa semakin besar waktu yang dihabiskan, maka semakin banyak pula bakteri yang mati akibat efek dari sistem *ICAF* sederhana. Sisa bakteri terbanyak diperoleh oleh eksperimen dengan waktu 3 menit dengan jumlah 6.050.000 CFU/ml bakteri, sedangkan sisa bakteri paling sedikit didapatkan pada variasi menit ke 7 dengan jumlah 270.000 CFU/ml bakteri.

#### **4.3.1.3 Tabel dan Grafik dengan Besar Arus 0,5 Ampere**

**Tabel 4.3 Hasil eksperimen dengan arus listrik 0,5 Ampere**

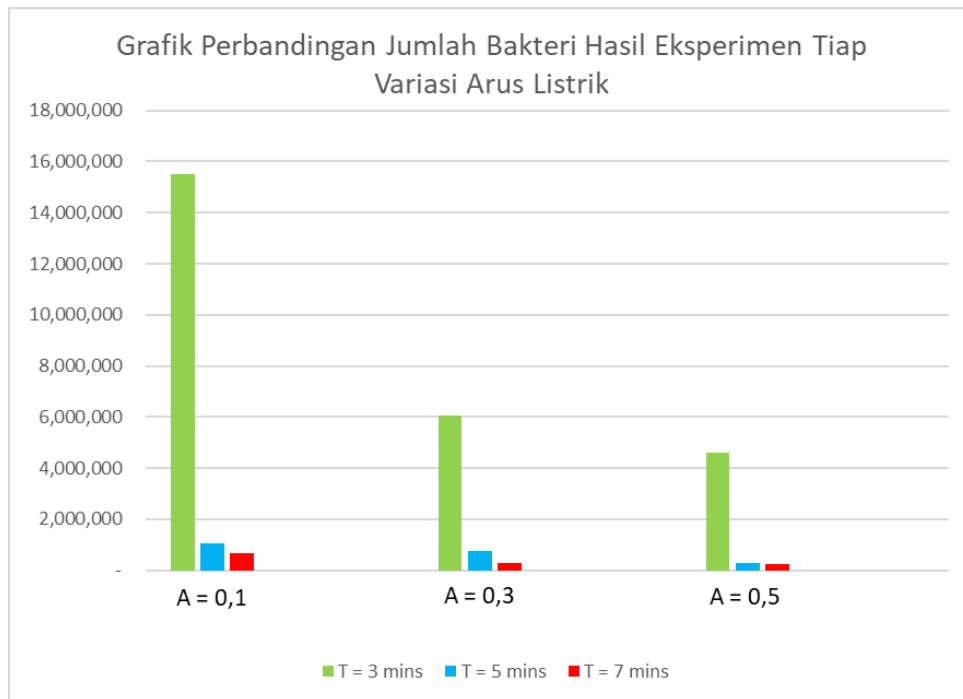
Sample No	Tabel Hasil Eksperimen Arus Listrik = 0,5 A		
	T = 3 mins	T = 5 mins	T = 7 mins
1	4,800,000	310,000	270,000
2	4,400,000	270,000	240,000
Mean	4,600,000	290,000	255,000



Grafik 4.3 Hasil eksperimen dengan besar arus listrik 0,5 Ampere

Grafik 4.3 menunjukkan perkiraan hasil jumlah bakteri hasil eksperimen yang menggunakan rumus sesuai standar *SPC*. Grafik mendeskripsikan bahwa semakin besar waktu yang dihabiskan, maka semakin banyak pula bakteri yang mati akibat efek dari sistem *ICAF* sederhana. Sisa bakteri terbanyak diperoleh oleh eksperimen dengan waktu 3 menit dengan jumlah 4.600.000 CFU/ml bakteri, sedangkan sisa bakteri paling sedikit didapatkan pada variasi menit ke 7 dengan jumlah 255.000 CFU/ml bakteri.

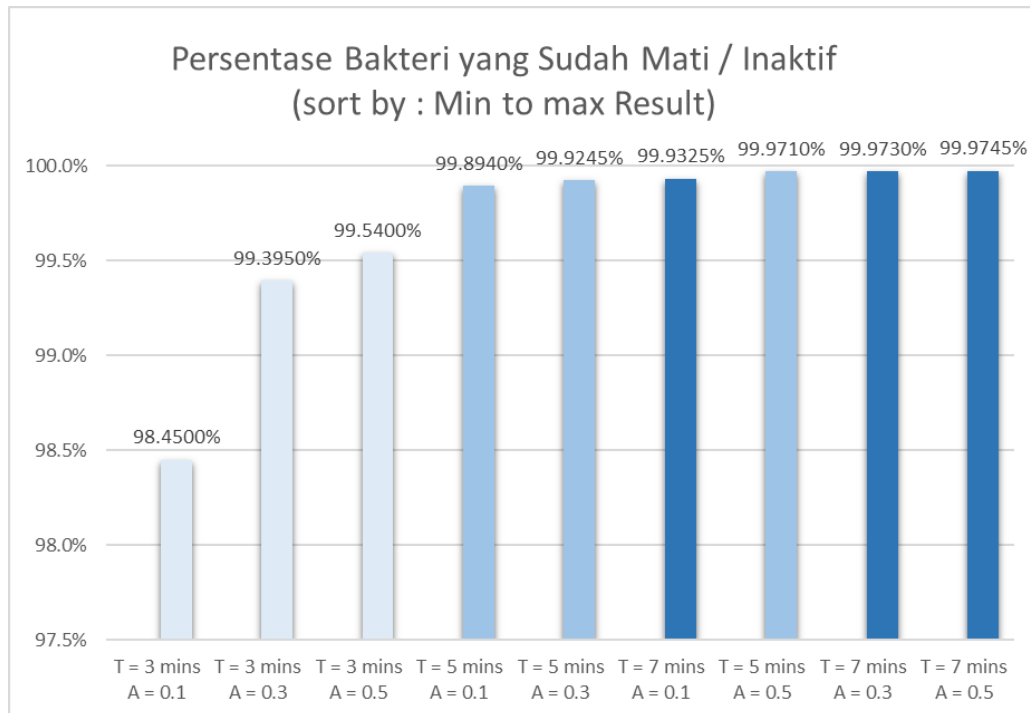
#### 4.3.1.4 Perbandingan Sisa Bakteri Terhadap Tiap Besar Arus Listrik



Grafik 4.4 Perbandingan sisa bakteri tiap variasi arus listrik

Berdasarkan grafik perbandingan diatas, dapat dijelaskan bahwa pengurangan jumlah bakteri yang sangat signifikan dapat ditunjukkan antara semua kolom hijau sebagai representasi dari waktu eksperimen selama 3 menit dalam semua variabel arus dengan kolom biru sebagai waktu eksperimen selama 5 menit dalam tiap besar arus listrik pula. Antara semua kolom biru dan kolom merah tidak menunjukkan penurunan yang signifikan seperti antara kolom hijau dan biru.

#### 4.3.1.5 Persentase Bakteri yang Sudah Mati atau Inaktif



Grafik 4.5 Persentase bakteri yang sudah mati tiap variabel

Grafik diatas dibuat untuk memudahkan agar dapat mengetahui persentase sisa bakteri hasil eksperimen pada tiap kombinasi variabel waktu dan besar arus listrik. Berdasarkan grafik diatas, kenaikan persentase pada grafik tersebut berbentuk sama namun berbanding terbalik dengan grafik pada Grafik 4.4 yang mendeskripsikan kombinasi variabel yang memiliki jumlah bakteri terbanyak hingga tersedikit usai eksperimen dieksekusi. Persentase terendah dimiliki oleh kombinasi variabel dengan T = 3 menit dan A = 0,1 (98,45%), sedangkan persentase terbesar tentu saja diperoleh oleh kombinasi variabel dengan T = 7 menit dan A = 0,5 A (99,9745%). Ini membuktikan juga bahwa rangkaian sederhana sebagai representasi dari sistem *ICAF* sebenarnya berjalan dengan lancar.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis eksperimen ICAF sederhana yang dilaksanakan sesuai dengan metodologi, disertai dengan dasar teori yang saling berkaitan dan jurnal – jurnal sebagai referensi esensial sebagai acuan dari laporan tugas akhir ini, berikut adalah kesimpulan – kesimpulan yang dapat diambil :

1. Dari analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jika semakin banyak waktu yang digunakan, maka efektivitas alat tersebut dalam mengurangi jumlah bakteri akan semakin baik
2. Kombinasi variabel waktu eksperimen dan arus listrik dari alat ICAF sederhana yang memiliki efektivitas tertinggi adalah variabel dengan waktu eksperimen sebanyak 7 menit dan besar arus listrik yang dikeluarkan sebanyak 0,5 ampere (99,9745%), Sedangkan kombinasi variabel yang paling efisien berdasarkan analisa pada bab 4 adalah variabel kombinasi yang memiliki waktu eksperimen selama 3 menit dan memiliki besar arus listrik sebanyak 0.1 ampere
3. Konsentrasi bakteri *pseudomonas fluorscens* pada akhir eksperimen berkurang drastis yaitu kurang lebih sekitar 99%. Jumlah bakteri yang hidup diperkirakan hanya dibawah 1%

#### **5.2 Saran**

Mulai dari awal proses pengerjaan laporan Tugas Akhir sampai penyelesaian hal tersebut, tentunya saran sangat dibutuhkan agar kesalahan – kesalahan, maupun beberapa koreksi untuk penelitian kedepannya dapat berjalan dengan lebih mulus. Oleh karena itu, berikut merupakan saran – saran dari penulis untuk penelitian kedepannya :

1. Variasi waktu uji eksperimen dan besar arus listrik jika bisa lebih di ganti *range* nya. Jenis bakteri yang diuji juga dapat diganti atau ditambah sesuai dengan alasan yang jelas mengapa suatu bakteri



tersebut perlu untuk diuji (Bisa dari resistansi, laju tumbuh atau sifat bakteri lainnya)

2. Dalam proses pengenceran sampel bakteri hasil uji, diragamkan variasi pengencerannya yang akan digunakan untuk kalkulasi perkiraan sisa bakteri misal: dari  $10^{-3}$  sampai  $10^{-6}$ , jika bisa seluruh hasil pengenceran tersebut pada 2 cawan petri (duplo) yang sama dengan 12 (2 cawan tiap factor pengenceran dikali 3 pengenceran yang berbeda = 12 cawan petri) dapat dihitung dengan metode Angka Lempeng Total (ALT) agar variasi dalam penghitungan jumlah bakteri bisa beragam.
3. Katoda dan anoda dapat divariasikan lagi, atau dengan tambahan anoda menjadi dua dengan jenis berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- AFS. 2001. *International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships*
- Hedges A. J, R. Shannon and R. P. Hobbs. 1978 *Journal of Applied Bacteriology*, 45, 57
- Alpamy, Nandyo. 2008. Analisa Ukuran Butir *Ferrite* Dan Laju Korosi Baja *HSLA* 0,029% Nb Setelah Canai Panas. Skripsi FTUI, Depok
- American Public Health Association. 1984. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 2nd ed. APHA, Washington, DC
- Beumer, B. J. M. 1985. Ilmu Bahan Logam Jilid. 1. Diterjemahkan dari Bahasa Inggris oleh Matondang, Anwir B. S. Bharata Karya Aksara, Jakarta
- Det Norske Veritas. 2007. *Corrosion Protection of Floating Production and Storage Units*
- Dwidjoseputro. 1994. Dasar-Dasar Mikrobiologi. Jakarta
- Feriandi, Marison. 2012. Analisa Penggunaan *Impressed Current Anti Fouling (ICAF)* sebagai Pencegahan *Fouling* di *Linier Generator* pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut. Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Halubangga, N. 2014. Hitungan Cawan. <http://eprints.ung.ac.id/3357/5/2013-1-48401-821310022-bab230072013070923.pdf>. Diakses pada 30 April 2017.
- Hoben, H. J. and Somasegaran P. 1982. *Applied and Environmental Microbiology*. 44, 1246
- Ishak, Isa dan Retnowati Y. 2014. Pemanfaatan Berbagai Jenis Bakteri Dalam Proses *Bioremediation* Limbah Logam Berat Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

IMO. 2014. *Implications of The United Nations Convention on The Law of the Sea for The International Maritime Organization*

International Dairy Federation. 1987. *Milk and Milk Products: Enumeration of Microorganisms—Colony Count at 3°C*. Provisional IDF Standard 100A. IDF, Brussels, Belgium.

Maturin, Larry (ret.) dan Peeler, James T. 2001. *Bacteriological Analytical Manual Chapter 3 Aerobic Plate Count*. U.S Food and Drugs Administration, U. S Department of Health and Human Services, America. <https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm063346.htm> . Diakses pada 7 Maret 2017.

Kenneth, A. Chandler. 1985. *Marine and Offshore Corrosion*. Butterworth 4<sup>th</sup> Edition. England

M. W Lechevallier, R.J. Seidler, and T.M. Evans. *Enumeration and Characterization of Standard Plate Count Bacteria in Chlorinated and Raw Water Supplies*. *Applied and Environmental Microbiology*, 40(5), 1980, 922-930. [Norwegian Directorate for Civil Protection. 2014. Regulations Relating to Maritime Electrical Installations

Mishra, P. dan Prasad R. 1989. *Relationship Between Ethanol Tolerance and Fatty Acyl Composition of Saccharomyces cerevisiae*. *Application Microbiology Biotechnology*, 30 : 294-298

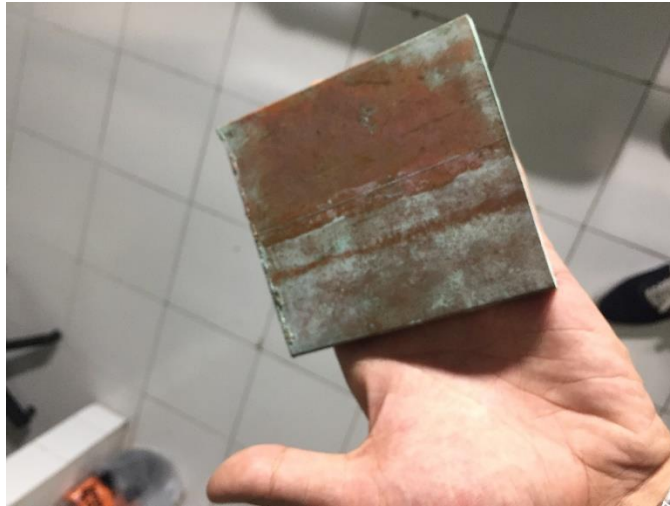
Norwegian Directorate for Civil Protection. 2012. Regulations Relating to Maritime Electrical Installation.

P. Munsch- Alatossava, H. Rita, and T. Alatossava. *A Faster and More Economical Alternative to The Standard Plate Count (SPC) Method for Microbiological analyses of Raw Milks*. Department of Food Technology, University of Helsinki, PO Box 66, FIN-00014 University of Helsinki, Finland

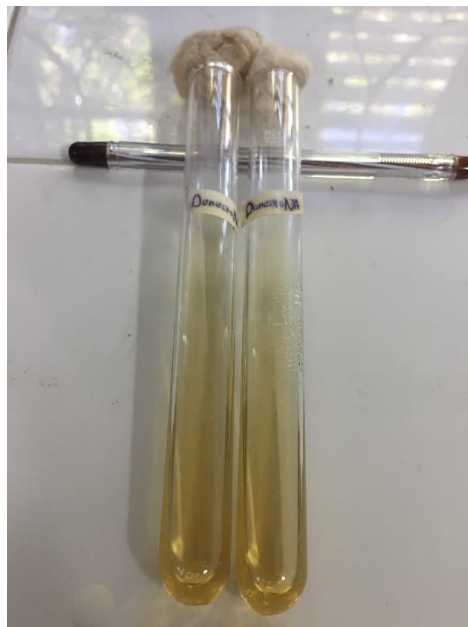
- Panualitta, J Nevada dan A. Petty, Alexander. 2011. Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35C) dengan Pengaruh Waktu Penahanan Melalui Proses Pengarbonan Padat dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Katalisator. Politeknik Negri Ambon, Jurusan Mesin, Ambon
- Pelczar, Michael J. ECS. Chan. 2008. Dasar-dasar mikrobiologi. Jakarta. UI Press.
- Prescott, Harley. Fifth Edition : *Laboratory Exercises in Microbiology*.
- Rizki Azhari, Achmad. 2016. Laporan Praktikum Keamanan Pangan. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro, Semarang
- Starkey. R. L. 1973. Department of Biochemistry and Microbiology, College of Agriculture and Environmental Science, Rutgers University, The State University of New Jersey, New Brunswick, New Jersey 08903, United States of America
- Sunarya, Y., A. Setiabudi. 2009. Mudah dan Aktif Belajar Kimia 3 : Untuk Kelas XII Sekolah Menengah Atas / Madrasah Aliyah. Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta
- Sutrisno. 1986. Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya. Bandung: ITB.
- Tri Sudrajat, Achmad. 1990. Peningkatan kekuatan dan ketangguhan baja HSLA Grade AH36 untuk aplikasi lambung kapal perang melalui proses perlakuan panas = Improvement of strength and toughness of AH36 Grade HSLA steel by heat treatment process for warship hull. Universitas Indonesia, Jakarta
- Virender Singh *et al.* 2010. *Isolation and Characterization of Pseudomonas Resistant to Heavy Metals Contaminants*. Head, Dept. of Life Sciences, Himachal Institute of Life Sciences, Paonta Sahib (H.P.), India.
- Wiludin A, Soepomo H. 2013. Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) Dibandingkan dengan *Sacrificial Anode* dalam Proses Pencegahan Korosi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

**LAMPIRAN A**

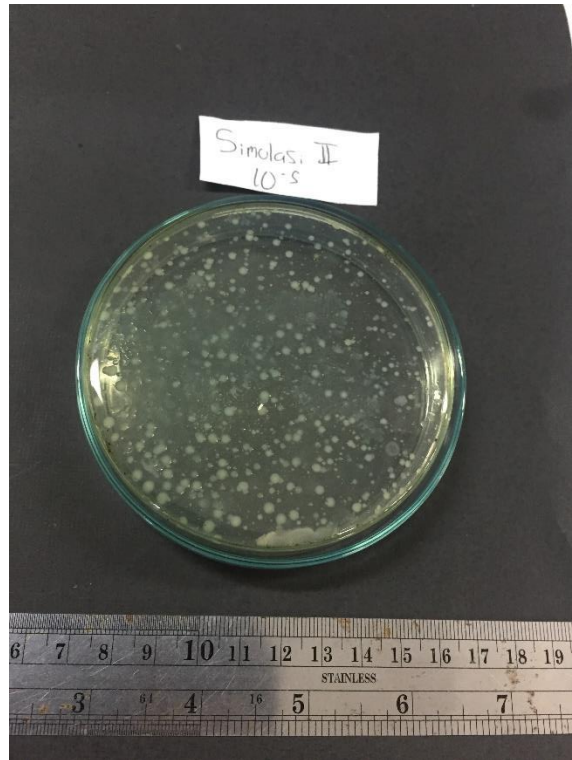
**DOKUMENTASI EKPERIMEN**



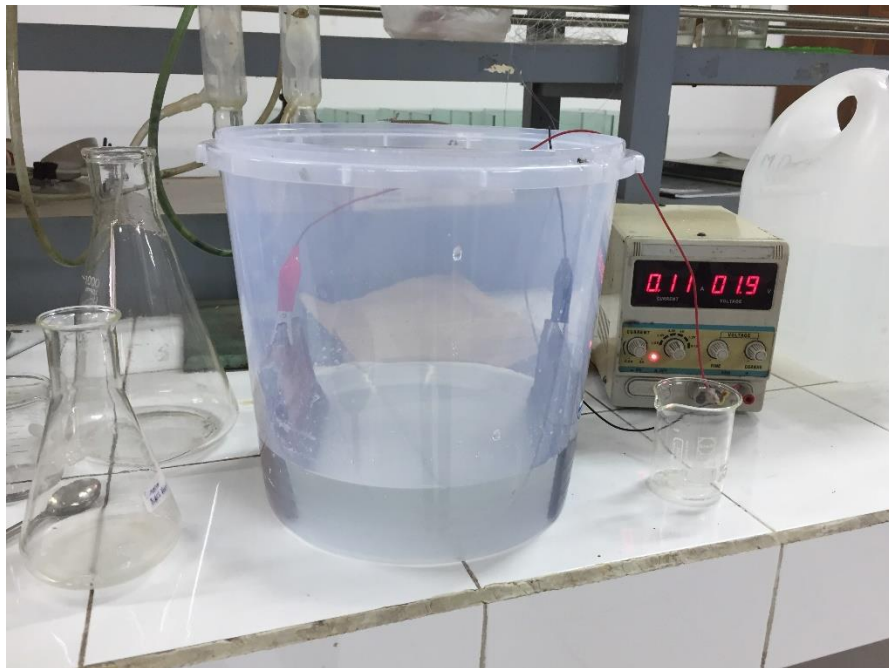
A1. Gambar kondisi Anoda Tembaga pasca Eksperimen



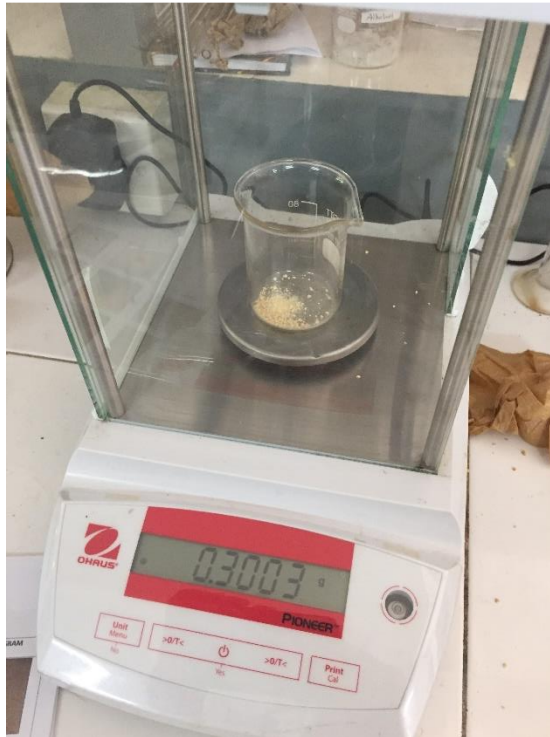
A2. Gambar dari *Natrium Agar* saat miringkan untuk inokulasi



A3. Contoh hasil pengenceran yang gagal atau terkontaminasi



A4. Skema pengujian *ICAF* saat simulasi



A5. Gambar pengukuran berat *Natrium Agar powder*



A6. Proses *shaking* oleh *shaker device* pada bakteri sebelum dilakukan *centrifuge*



**LAMPIRAN B**

**KALKULASI METODE *POUR PLATE COUNT***

**RUMUS SESUAI *SPC***

**(T = 3 menit, Arus Listrik = 0,1 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 180 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 130 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 155 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-5}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)

=  $155 / (1 / 10^{-5})$

=  **$155 \times 10^{-5}$  CFU/ml**

**(T = 3 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 78 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 43 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 60,5 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-5}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)

=  $60,5 / (1 / 10^{-5})$

=  **$60,5 \times 10^{-5}$  CFU/ml**

**(T = 3 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 48 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 44 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 46 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-5}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)

=  $46 / (1 / 10^{-5})$

=  **$46 \times 10^{-5}$  CFU/ml**

**(T = 5 menit, Arus Listrik = 0,1 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 94 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 118 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 106 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-4}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)  
=  $106 / (1 / 10^{-4})$   
=  **$106 \times 10^{-4}$  CFU/ml**

**(T = 5 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 64 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 87 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 75,5 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-4}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)  
=  $75,5 / (1 / 10^{-5})$   
=  **$75,5 \times 10^{-5}$  CFU/ml**

**(T = 5 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 31 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 27 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 29 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-4}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)

$$= 29 / (1 / 10^{-4})$$

$$= \mathbf{29 \times 10^{-4} \text{ CFU/ml}}$$

**(T = 7 menit, Arus Listrik = 0,1 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 75 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 60 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 67,5 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-4}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)

$$= 67,5 / (1 / 10^{-4})$$

$$= \mathbf{67,5 \times 10^{-4} \text{ CFU/ml}}$$

**(T = 7 menit, Arus Listrik = 0,3 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 28 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 26 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 27 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-4}$

Jumlah Bakteri = Jumlah Titik / (1 / f. pengenceran)

$$= 27 / (1 / 10^{-4})$$

$$= \mathbf{27 \times 10^{-4} \text{ CFU/ml}}$$

**(T = 7 menit, Arus Listrik = 0,5 Ampere)**

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 1 = 27 titik

Jumlah koloni (*CFU*) pada cawan 2 = 24 titik

Rata - rata jumlah koloni (*CFU*) = 25,5 titik

Faktor Pengenceran =  $10^{-4}$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Bakteri} &= \text{Jumlah Titik} / (1 / \text{f. pengenceran}) \\ &= 25,5 / (1 / 10^{-4}) \\ &= \mathbf{25,5 \times 10^{-4} \text{ CFU/ml}}\end{aligned}$$

## BIODATA PENULIS



Muhammad Danesto Rizky Mauludin dilahirkan di Jakarta pada tanggal 7 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDI Al-Azhar 19 Sentra Primer Jakarta pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan Pendidikan sekolah di SMPI Al-Azhar Rawamangun Jakarta pada tahun 2007-2010 dan SMAN 21 Jakarta pada tahun 2010-2013. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar dengan NRP 4313100139. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti kegiatan seperti LKMM Pra-TD, Pelayaran IPTEK, Oceano dan kepanitiaan lainnya. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan CNOOC

SES Ltd selama 2 bulan. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang korosi dan *anti - fouling* sehingga dalam tugas akhir ini penulis mengambil judul Studi Aplikasi *Impressed Current Anti Fouling* pada *Cooling System* Kapal Terhadap Bakteri *Fouling*.

Kontak Penulis :

Email : [danesssttt@gmail.com](mailto:danesssttt@gmail.com)  
Telepon : 0817787599  
Line ID : danesto